

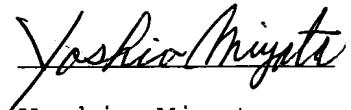


DECLARATION

I, Yoshio Miyata, 15-2, Higashi-tateishi 4-chome,  
Katsushika-ku, Tokyo, Japan do solemnly and sincerely  
declare that I well understand the Japanese language and  
English language and the attached English version is full,  
true and faithful translation of the certified copy of the  
Japanese Patent Application No. P2002-342184 filed on  
November 26, 2002.

And I made this solemn declaration conscientiously  
believing the same to be true.

This 11th day of October, 2005

  
Yoshio Miyata



【Name of Document】

Application for Patent

【Reference No.】

NT02P0873

【Application Date】

November 26, 2002

【Destination】

Commissioner, Patent Office

【International Patent Cl.】 G11B 5/39

【Inventor】

【Address】 2880, Kozu, Odawara-shi,  
Kanagawa-ken  
Hitachi, Ltd. Storage Div.

【Name】 Shigekazu OHTOMO

【Inventor】

【Address】 2880, Kozu, Odawara-shi,  
Kanagawa-ken  
Hitachi, Ltd. Storage Div.

【Name】 Hiroshi FUKUI

【Inventor】

【Address】 280, Higashikoigakubo 1-chome, Kokubunji-shi,  
Tokyo  
Hitachi, Ltd. Central Research Laboratory

【Name】 Nobuo YOSHIDA

【Applicant for Patent】

【Identification No.】 000005108

【Name】 Hitachi, Ltd.

【Agent】

【Identification No.】 100068504

【Patent Attorney】

【Name】 Katsuo OGAWA

【Phone No.】 03-3661-0071

【Name of Document】 Application for Patent

【Reference No.】 NT02P0873

【Application Date】 November 26, 2002

【Destination】 Commissioner, Patent Office

【International Patent Cl.】 B11B 5/39

【Inventor】

【Address】 2880, Kozu, Odawara-shi,  
Kanagawa-ken  
Hitachi, Ltd. Storage Div.

【Name】 Shigekazu OHTOMO

【Inventor】

【Address】 2880, Kozu, Odawara-shi,  
Kanagawa-ken  
Hitachi, Ltd. Storage Div.

【Name】 Hiroshi FUKUI

【Inventor】

【Address】 280, Higashikoigakubo 1-chome, Kokubunji-shi,  
Tokyo  
Hitachi, Ltd. Central Research Laboratory

【Name】 Nobuo YOSHIDA

【Applicant for Patent】

【Identification No.】 000005108

【Name】 Hitachi, Ltd.

【Agent】

【Identification No.】 100068504

【Patent Attorney】

【Name】 Katsuo OGAWA

【Phone No.】 03-3661-0071

**【Appointed Agent】**

**【Identification No.】** 100086656  
**【Patent Attorney】**  
**【Name】** Kyosuke TANAKA  
**【Phone No.】** 03-3661-0071

**【Appointed Agent】**

**【Identification No.】** 100094352  
**【Patent Attorney】**  
**【Name】** Ko SASAKI  
**【Phone No.】** 03-3661-0071

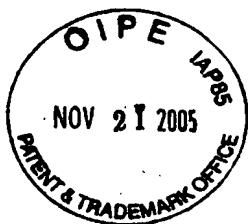
**【Designation of Fee】**

**【Ledger No. for Deposit】** 081423  
**【Amount of Payment】** ¥21000

**【List of Submitted Document】**

<b>【Object Name】</b>	Specification	1
<b>【Object Name】</b>	Drawings	1
<b>【Object Name】</b>	Abstract	1

**【Necessity of Proof】 Required**



[Name of Document] Specification

[Title of the Invention]

Recording/Reproducing Separated Type Magnetic Head

[What is Claimed is]

[Claim 1]

A recording/reproducing separated type magnetic head comprising:

a reproducing head having a reproducing element, said reproducing element being disposed by way of an insulating layer formed between a lower magnetic shield disposed on a substrate and an upper magnetic shield; and

a recording head including a lower magnetic pole disposed adjacent to said reproducing head and formed with a protrusion at one end of the lower magnetic pole, an upper magnetic pole disposed by way of a magnetic gap layer over the lower magnetic pole, said upper magnetic pole providing a magnetic gap at one end portion including the protrusion, said upper magnetic pole being connected with the lower magnetic pole on the side opposite to the magnetic gap, and conductor coils disposed by way of another insulating layer formed between the upper magnetic pole and the lower magnetic pole.

[Claim 2]

A recording/reproducing separated type magnetic head comprising:

a reproducing head having a reproducing element, said

reproducing element being disposed by way of an insulating layer formed between a lower magnetic shield disposed on a substrate and an upper magnetic shield; and

a recording head including a lower magnetic pole disposed adjacent to said reproducing head and formed with a protrusion at one end of the lower magnetic pole with opposite corners in an upper portion of said protrusion being removed, an upper magnetic pole disposed by way of a magnetic gap layer over the lower magnetic pole, said upper magnetic pole providing a magnetic gap at one end portion including the protrusion, said upper magnetic pole being connected with the lower magnetic pole on the side opposite to the magnetic gap, and conductor coils disposed by way of another insulating layer formed between the upper magnetic pole and the lower magnetic pole.

[Claim 3]

A recording/reproducing separated type magnetic head comprising:

a reproducing head having a reproducing element, said reproducing element being disposed by way of an insulating layer formed between a lower magnetic shield disposed on a substrate and an upper magnetic shield; and

a recording head including a lower magnetic pole disposed adjacent to said reproducing head, a lower magnetic pole front end layer disposed on one end of the lower magnetic

pole and formed with a protrusion on one end of the lower magnetic pole front end layer, a lower magnetic pole rear end layer disposed on the other end of the lower magnetic pole, a non-magnetic insulating layer that fills a portion between the lower magnetic pole rear end layer and the lower magnetic pole front end layer, an upper magnetic pole disposed by way of a magnetic gap layer above the lower magnetic pole front end layer, the non-magnetic insulating layer and the lower magnetic pole rear end layer, said upper magnetic pole providing a magnetic gap at one end portion including the protrusion, said upper magnetic pole being connected with the lower magnetic pole rear end layer, and conductor coils disposed by way of another insulating layer formed between the upper magnetic pole and the lower magnetic pole.

[Claim 4]

A recording/reproducing separated type magnetic head comprising:

a recording head having a reproducing element, said reproducing element being disposed by way of an insulating layer formed between a lower magnetic shield disposed on a substrate and an upper magnetic shield; and

a recording head including a lower magnetic pole disposed adjacent to said recording head, a lower magnetic pole front end layer having a plurality of layers disposed on one end of the lower magnetic pole, said lower magnetic pole

front end layer being formed with a protrusion on one end of the uppermost layer thereof, a lower magnetic pole rear end layer disposed on the other end of the lower magnetic pole, a non-magnetic insulating layer that fills a portion between the lower magnetic pole rear end layer and the lower magnetic pole front end layer, an upper magnetic pole disposed by way of a magnetic gap layer above the lower magnetic pole front end layer, the non-magnetic insulating layer and the lower magnetic pole rear end layer, said upper magnetic pole providing a magnetic gap at one end portion including the protrusion, said upper magnetic pole being connected with the lower magnetic pole rear end layer, and conductor coils disposed by way of another insulating layer formed between the upper magnetic pole and the lower magnetic pole.

[Claim 5]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 1 to 4, wherein a second protrusion is formed on one end portion including the protrusion formed on the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer but at a portion opposing to the upper magnetic pole.

[Claim 6]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 3 to 5, wherein said upper magnetic pole has an upper magnetic pole front end layer

located at a portion providing the magnetic gap, an upper magnetic pole upper layer in contiguous with the upper magnetic layer front end layer, and an upper magnetic pole rear end layer in contiguous with the upper magnetic pole upper layer and connected to the lower magnetic pole rear end layer.

[Claim 7]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 1 to 6, wherein the depth of the protrusion formed on the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer is from 0.01  $\mu\text{m}$  to 1.0  $\mu\text{m}$ .

[Claim 8]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 5 to 7, wherein the width for the protrusion formed on the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer is from 0.26  $\mu\text{m}$  to 0.6  $\mu\text{m}$ , and the width for the second protrusion at least has a track width.

[Claim 9]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 1 to 8, wherein the conductor coils are stacked by two or more layers and each of the conductor coils are connected in series at the end.

[Claim 10]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 6 to 9, wherein the conductor

coils are constituted with two layers and the lower layer conductor coils are disposed between the upper magnetic pole front end layer and the upper magnetic pole rear end layer.

[Claim 11]

A recording/reproducing separated type magnetic head according to any one of claims 6 to 9, wherein the conductor coils are constituted with two layers, the lower layer conductor coils are disposed between the lower magnetic pole front end layer and the lower magnetic pole rear end layer, and the upper layer conductor coils are disposed between the upper magnetic pole front end layer and the upper magnetic layer rear end layer.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field to which the Invention Pertains]

The present invention relates to a recording/reproducing separated type magnetic head for use in magnetic recording disk drives and, in particular, it relates to a thin film recording head having a narrow track width used at high density recording and high track pitch.

[0002]

[Prior Art]

In recent years, along with the improvement in the recording density in magnetic recording disk drives, there has been strongly demanded the improvement in the performance of

recording media, as well as the development of thin film magnetic head excellent in recording/reproducing characteristics. At present, heads using MR (Magnetic Resistive Effect) elements or GMR(Giant Magnetic Resistive Effect) elements capable of obtaining high read output are used as the recording head. Further, TMR (Tunnel Magnetic Resistance) elements capable of obtaining further higher reproducing sensitivity have also been developed. On the other hand, existent induction type thin film recording heads utilizing electromagnetic induction are used for the recording head, and recording/reproducing separated type thin film magnetic heads in which the recording head and the wiring head are formed integrally as described above are used.

[0003]

To improve the recording characteristics of the thin film recording head, it is necessary to generate strong and sharp recording magnetic fields for effective recording to recording media at high coercivity. However, magnetic saturation is caused in the magnetic pole front end of the thin film recording head due to decrease of the track width along with the improvement in the track density, resulting in a problem of lowering the recording magnetic fields. Further, there is a problem that the recording magnetic fields should leak not only for the track width but also to adjacent track portions.

[0004]

An existent thin film magnetic head has a structure as described in Fig. 2 of the Patent Document 1, in which an upper magnetic pole is separated into an upper magnetic pole front end layer and an upper magnetic pole upper layer. In this structure, as shown in Fig. 3, a lower magnetic shield 2 made of a soft magnetic material for improving resolution upon reproducing and eliminating the effects of external magnetic fields is disposed on a substrate 1 made of a non-magnetic material, a reproducing gap 3 made of a non-magnetic insulative material is disposed on the lower magnetic shield 2, and a reproducing element 4 comprising an MR or GMR element is disposed in the reproducing gap 3. A lower magnetic pole 5 made of a soft magnetic material used also as an upper magnetic shield is disposed on the reproducing gap 3 and, further, a recording gap layer 6 is disposed. A depth defining non-magnetic layer 7 for defining the gap depth is disposed on the gap layer 6 and, further, an upper magnetic pole front end layer 8 and an upper magnetic layer rear end layer 9 are disposed and a gap therebetween is filled and planarized with a non-magnetic insulating layer 10. A coil insulating layer 11 is disposed on the surface planarized, and lower conductor coils 12 and upper conductor coils 12' are disposed in the coil insulating layer 11. The conductor coils may sometimes consist of only one layer. Further, an upper

magnetic pole upper layer 13 is disposed and the entire head is protected by a protection layer 14.

[0005]

The width for the upper magnetic pole front end layer 8 on the air bearing surface 15 is formed in a width corresponding to a track width. The conductor coils 12, 12' are constituted so as to surround the rear end 16 of the upper magnetic pole upper layer. Application of a recording current to the conductor coils 12, 12' induces magnetic fluxes in the upper magnetic pole upper layer 13, the upper magnetic pole rear end layer 9 and the lower magnetic pole 5 and records signals in a recording medium 17 that runs spaced apart by a minute distance from the air bearing surface 15 by recording magnetic fields generated from the front end of the recording gap. Magnetic fluxes are concentrated from the lower magnetic pole 5 in the vicinity of the recording gap to generate high recording magnetic fields. The length in which the upper magnetic front end layer 8 is in contact with the recording gap layer 6 is referred to as a gap depth  $G_d$ , and the recording magnetic fields increase as the gap depth decreases since the magnetic fluxes are concentrated to the magnetic pole gap end.

[0006]

Further, as a method of improving the accuracy upon forming the narrow track, a recording/reproducing separated

type thin film magnetic head shown in Fig. 4 is proposed in Patent Document 2. For the head proposed, a lower magnetic pole front end layer 19 and a lower magnetic pole rear end layer 20 are disposed on a lower magnetic pole main layer 18 and a gap therebetween is filled and planarized with a lower non-magnetic insulating layer 21, to form a recording gap layer 6, and then a resist frame is prepared on the planar surface to form an upper magnetic pole front end layer 8. Thus, a narrow track width can be formed with high accuracy.

[0007]

Fig. 5 shows a perspective view for the head front end of the recording/reproducing separated type thin film magnetic field shown in Fig. 4. In both of the thin film magnetic head shown in Fig. 3 and Fig. 4, a trimmed portion 22 having a width substantially equal to a track width  $T_w$  is formed at the front end of the lower magnetic pole 5 and the lower magnetic pole front end layer 18, thereby decreasing so-called fringe magnetic fields that leak to the outside of the track width  $T_w$ .

[0008]

Patent document 1

Japanese Patent Laid-Open 2000-276707

(pages 7 - 8, Fig. 2)

Patent document 2

Japanese Patent Laid-Open 2002-157705

(page 3, Figs. 1 - 2)

[0009]

[Problem to be Solved by the Invention]

In the prior art described above, the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 is subjected to ion milling or reactive ion etching using the track forming portion of the magnetic pole front end layer 8 as a mask to form the trimmed portion 22. Accordingly, the height Tr for the trimmed portion 22 is limited to about 2 to 3 times the recording gap and it is extremely difficult to increase the height of the trimmed portion 22 in view of manufacture. Therefore, it is difficult to effectively decrease the magnetic fields that leak to the outside of the track width to possibly record surplus signals on adjacent tracks or gradually erase recorded signals in the adjacent tracks due to a great number of times of recording operations along with decrease in the track pitch.

[0010]

An object of the present invention is to provide a recording/reproducing separated type magnetic head capable of greatly decreasing off-track leakage magnetic fields in a thin film recording head, thereby attaining a narrow track pitch.

[0011]

[Means for Solving the Problem]

To attain the foregoing object, in a recording/reproducing separated type magnetic head according

to the present invention, a protrusion having a width equal to or slightly larger than the track width and protruding on the side of a air bearing surface is disposed to a lower magnetic pole or a lower magnetic pole front end layer, and the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer other than the protrusion is retracted from the air bearing surface. With such a constitution, since the upper end surface of the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer where leakage magnetic fields for the off-track portion will be generated is not exposed to the air bearing surface, leakage magnetic fields for the off-track portion can be decreased greatly.

[0012]

In a case of forming a track width portion of the upper magnetic pole front end layer at the protrusion formed on the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer, it is difficult to perform positional alignment between the protrusion and the track width portion of the upper magnetic pole front end layer. It is preferred that the width for the protrusion and the track width for the upper magnetic pole front end layer are identical to obtain a recording magnetic field distribution with less off-track leakage magnetic fields. However, the positional alignment is difficult, resulting in displacement of the track width between the upper magnetic field and the lower magnetic field to possibly decrease the

effective track width and the recording magnetic fields. In the thin film recording head of the recording/reproducing separated type magnetic head according to the invention, the width for the protrusion disposed on the lower magnetic pole or the lower magnetic pole front end layer is set larger than the track width for the upper magnetic pole front end layer, the track portion of the upper magnetic pole front end layer is formed thereon and then a portion larger than the track width for the protrusion is removed by ion milling or reactive ion etching using the track width portion of the upper magnetic front end layer as a mask to form a trimmed portion, thereby preventing displacement of the track width between the lower magnetic pole and the upper magnetic pole. In this case, by defining the initial width for the protrusion to an appropriate value relative to the track width, positional alignment of the track is possible and the off-track leakage magnetic fields can also be decreased.

[0013]

Further, in the thin film recording head of the recording/reproducing separated type magnetic head according to the invention, upper end corners other than the portion constituting the track width for the protrusion are removed. This permits the off-track leakage magnetic fields to be decreased even when the width for the protrusion is increased.

[0014]

[Mode for Carrying out the Invention]

The present invention is to be described more specifically by way of embodiments.

[First Embodiment], [Second Embodiment]

Fig. 1 shows a perspective view of a portion near the front end of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a first embodiment the invention. The structure for the head cross section is identical with that in Fig. 4. In the drawing, a lower magnetic pole main layer 18, a lower magnetic pole front end layer 19, an upper magnetic pole front end layer 8, and an upper magnetic pole upper layer 13 are shown while a magnetic shield, conductor coils, insulating layers and a protection film are not illustrated. A protrusion 24 having a width substantially equal to a track width  $T_w$  is disposed on a portion of the lower magnetic pole front end layer 19. In this case, the lower magnetic pole front end layer 19 other than the protrusion 24 is disposed at a position spaced apart by a depth  $L_{pf}d$  from the air bearing surface. Further, Fig. 2 shows a thin film recording head according to a second embodiment of the invention. A protrusion 24 having a width  $L_{pf}w$  larger than the track width  $T_w$  is disposed on a portion of the lower magnetic pole top layer 19, and the lower magnetic pole front end layer 19 other than the protrusion 24 is retracted by a distance  $L_{pf}d$  from

the air bearing surface.

[0015]

Off-track leakage magnetic fields formed by the constitution described above were determined by using computer simulation. In the head structure shown in Fig. 1 and Fig. 2, it is defined as: track width  $T_w = 0.25 \mu\text{m}$ , recording gap length  $GL = 0.1 \mu\text{m}$ , gap depth  $Gd = 1 \mu\text{m}$ , trim height  $Tr = 0.22 \mu\text{m}$ , lower magnetic pole height  $Lp2h = 1.5 \mu\text{m}$ , upper magnetic pole restriction position  $Ly = 1 \mu\text{m}$ , lower magnetic pole main layer thickness  $Lp1t = 2 \mu\text{m}$ , upper magnetic pole front end layer thickness  $Up1t = 1.5 \mu\text{m}$ , and upper magnetic pole upper layer thickness  $Up2t = 2 \mu\text{m}$ . As the magnetic material for the thin film recording head, 45Ni-Fe (saturation magnetic flux density  $B_s = 1.68\text{T}$ ) was used for the lower magnetic pole main layer 18 and the upper magnetic pole upper layer 13, and CoNiFe film ( $B_s = 2.2\text{T}$ ) was used for the lower magnetic pole front end layer 19 and the upper magnetic layer front end layer 8. Magnetomotive force was 0.54AT. Further, an existent thin film recording head, as a comparative example, shown in Fig. 5 was manufactured by using the same size and identical magnetic material other than those for the protrusion 24.

[0016]

Fig. 6 shows the distribution of leakage magnetic fields  $H_{xz}$  in the off-track direction when the width  $Lpfw$  for

the protrusion 24 is  $0.25 \mu\text{m}$  which is identical with the track width  $T_w$ .  $Z$  represents the direction for the track width,  $Z = 0$  represents the center for the track width, and  $H_{xz}$  is a vectorial sum for the magnetic field component  $H_x$  in the head running direction and the magnetic field component  $H_z$  in the track width direction, showing a maximum value at each  $Z$  position when the head running direction  $X$  is changed. As shown in the drawing, at  $L_{pfd} = 0$ , that is, with no provision of the protrusion 24 (prior art, shown in Fig. 5), the magnetic field at the off-track position  $Z = 0.5 \mu\text{m}$  is as high as about  $320 \text{ kA/m}$  ( $4000 \text{ Oe}$ ) and the magnetic fields are not decayed so much even when  $Z$  increases further. On the other hand, when the protrusion 24 is formed as in the thin film recording head of the first embodiment, magnetic fields in off-track decrease greatly in any case from  $0.15 \mu\text{m}$  to  $0.5 \mu\text{m}$  of  $L_{pfd}$ , and the magnetic fields at  $Z = 0.5 \mu\text{m}$  is  $220 \text{ kA/m}$  ( $2750 \text{ Oe}$ ) or less.

[0017]

As described above, in the head shown in Fig. 5 with no protrusion 24, since leakage magnetic fluxes flow from the upper magnetic pole front end layer 8 to the upper end surface 23 of the lower magnetic pole front end layer 19, relatively high leakage magnetic fields  $H_{xz}$  are generated at the position for the air bearing surface of the upper end surface 23 of the lower magnetic pole front end layer. On the other hand, the

thin film recording head of the first embodiment shown in Fig. 1 is such that the upper end surface 23 of the lower magnetic pole front end layer 19 is spaced apart from the air bearing surface 15, the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  on the air bearing surface are greatly decayed. The lowering of the off-track leakage magnetic fields allows great decrease of the phenomenon that the signals recorded in adjacent tracks are eliminated and decayed, making it possible to provide a magnetic recording drive of a narrow track pitch.

[0018]

As described above, a thin film recording head greatly decreasing the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  can be provided by the constitution shown in Fig. 1. To manufacture the thin film recording head in Fig. 1, the protrusion 24 is formed by ion milling using the upper magnetic pole front end layer 8 as a mask, for which it is necessary to greatly increase the fabrication depth as compared with formation of the trimmed portion 22. Accordingly, a lower magnetic pole front end layer 19 provided with the protrusion 24 in advance is formed, on which the upper magnetic pole front end layer 8 is formed. The upper magnetic pole front end layer 8 is formed as follows: a resist is coated on a recording gap layer 6 on the lower magnetic field front end layer 19, a portion to be formed into the shape of the lower magnetic pole front end layer 19 is removed by exposure through the mask and

development; and, further, a magnetic layer to serve as the upper magnetic pole front end layer 8 is formed at the removed portion by a plating method.

[0019]

In the second embodiment of the invention shown in Fig. 2, the width Lpfw for the protrusion 24 is formed larger than the track width Tw. After forming the upper magnetic pole front end layer 8 above the protrusion 24, a trimmed portion 22 is formed by ion milling or the like using the track portion of the upper magnetic pole front end layer 8 as a mask so that the width for the trimmed portion 22 of the lower magnetic pole front end layer 19 is substantially equal to the track width Tw for the upper magnetic pole front end layer 8. Other constitutions are identical with those in the first embodiment.

[0020]

Fig. 7 shows the change of the off-track leakage magnetic fields Hxz when the width Lpfw for the protrusion 24 of the lower magnetic pole front end layer 19 is changed. It is defined as: Lpfw = 0.15  $\mu\text{m}$ . As shown in the drawing, even when Lpfw is made larger by 0.35  $\mu\text{m}$  than the track width (= 0.25  $\mu\text{m}$ ), that is, set to 0.6  $\mu\text{m}$  which is 2.4 times as large as thereof, the decreasing effect for the off-track leakage magnetic fields Hxz can be maintained. In a case where it is increased to 0.8  $\mu\text{m}$  which is larger by 0.55  $\mu\text{m}$ , that is, 3.2

times as large as the track width ( $0.8 \mu\text{m}$ ), off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  increase partially as compared with a case of:  $L_{pdf} = 0$ , that is, with no provision of the protrusion 24.

[0021]

According to the thin film recording head of the second embodiment of the invention, if the width for the protrusion 24 of the lower magnetic pole front end layer 19 is increased to 2.4 times as large as the track width  $T_w$ , it is possible to absorb alignment error between the track width  $T_w$  for the upper magnetic pole front end layer 8 and the protrusion 24 and decrease the off track leakage magnetic fields  $H_{xz}$ .

[0022]

As described above, so long as the width  $L_{pfw}$  for the protrusion 24 is not more than 2.4 times the track width  $T_w$ , the effect of decreasing the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  can be obtained. Then, the effect is obtainable when the retraction amount  $L_{pdf}$  of the lower magnetic pole front end layer 19 other than the protrusion 24 from the air bearing surface 15 is a value exceeding zero, and a substantial effect is observed when it is  $0.01 \mu\text{m}$  or more. Further, when  $L_{pdf}$  increases, while the effect of decreasing the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  increases, the recording magnetic fields at the track center tend to be lowered. In order to prevent this tendency it is preferably  $1 \mu\text{m}$  or less and, desirably,  $0.5 \mu\text{m}$  or less.

[0023]

The thin film magnetic head may include such a constitution that the width for the lower magnetic pole main layer 18 or the lower magnetic pole front end layer 19 and the width for the upper magnetic pole main layer 13 or the upper magnetic pole front end layer 8 are made substantially equal from the air bearing surface 15 toward the direction of the depth thereof. However, the width for the lower magnetic pole main layer 18 or the lower magnetic pole front end layer 19 is basically constituted to be larger than the track width Tw and the width Lpfw for the protrusion 24 from the rear part of the head in the vicinity of the air bearing surface in the thin film recording head of the embodiment described above. This provides a feature in preventing lowering of the recording magnetic fields. Specifically, the width for the lower magnetic pole main layer 18 or the lower magnetic pole front end layer 19 is larger than the track width Tw and the width Lpfw for the protrusion 24 at the position spaced apart by Lpf<sub>d</sub> or more from the air bearing surface and equals the width for the protrusion 24 at the position spaced apart by Lpf<sub>d</sub> or less.

[0024]

[Third Embodiment]

Fig. 8 shows a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according

to a third embodiment of the invention. In the third embodiment, a protrusion 24 is removed at upper end corners 25 for a width  $\Delta w$  and a depth  $\Delta h$  in order to make the width for the protrusion 24 larger so as to readily absorb alignment error relative to the upper magnetic pole front end layer 8. Since other constitutions are identical with those in Fig. 2, they are not illustrated. Fig. 9 shows off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  at:  $L_{pf}d = 0.15 \mu m$  and  $L_{pf}w = 0.8 \mu m$ . As shown by the graph, the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  can be decreased by making  $\Delta w$  and  $\Delta h$  larger as compared with the case of:  $\Delta w = 0$  and  $\Delta h = 0$ . Accordingly, in the thin film recording head of the second embodiment shown in Fig. 2, even when the width  $L_{pf}w$  for the protrusion 24 is made at  $L_{pf}w = 0.8 \mu m$  which is larger by  $0.55 \mu m$  than the track width  $T_w$ , the off-track leakage magnetic fields  $H_{xz}$  can be decreased by removing the upper end corners 25 of the protrusion 25. Accordingly, the width  $L_{pf}w$  for the protrusion 24 can be increased and the positional alignment can be made easily with respect to the track portion of the upper magnetic pole front end layer 8.

[0025]

Fig. 10 and Fig. 11 shows the outline for the manufacturing method of a thin film recording head of this embodiment. The thin film recording head of this embodiment is manufactured as follows: a lower magnetic pole front end

layer 19 and a lower magnetic pole rear end layer 20 are formed in Fig. 4; then the gap therebetween is filled with a lower non-magnetic insulating layer 21; the surface of the insulating layer 21 is planarized by polishing; and, further, a recording gap layer 6 is formed on thereon.

[0026]

Fig. 10(a) shows the vicinity of the head front end in the state in which a recording gap layer 6 has been formed, as viewed from an air bearing surface 15. A protrusion 24 of the lower magnetic pole front end layer 19 is formed on a lower magnetic pole main layer 18, a lower non-magnetic insulating layer 21 is filled on both sides thereof and the recording gap layer 6 is formed thereon. Then, as shown in Fig. 10(b), a track portion 8 of the upper magnetic pole front end layer is formed over the protrusion 24.

[0027]

Further, as shown in Fig. 11(c), the lower non-magnetic insulating layer 21 and the recording gap layer 6 made of oxides are selectively etched by reactive ion etching etching (RIE) to form a step d between the upper end face of the protrusion 24 and the upper end face of the lower non-magnetic layer 21. In this case, when Al series oxides such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$  are used for the lower non-magnetic insulating layer 21 and the recording gap layer 6, a chlorine series gas such as  $\text{BCl}_3$  is used as an etching gas. Further, in a case of using Si

series oxides such as  $\text{SiO}_2$  for the non-magnetic insulating layer 21 and the recording gap layer 6, a fluorine series gas such as  $\text{CF}_3$  or  $\text{CF}_4$  is used. Therefore, since an etching rate ratio as high as 10 to 100 is attained between the magnetic metal layer used for the protrusion 24 and the lower non-magnetic insulating layer 21 and the recording gap 6, the step d for the lower non-magnetic insulating layer 21 can be formed easily.

[0028]

Then, as shown in Fig. 11(d), the upper surface of the protrusion 24 is removed by ion milling or the like using the track portion 8 of the upper magnetic pole front end layer as a mask. Thus a trimmed portion 22 is formed. Further, since the step d with respect to the lower non-magnetic insulating layer 21 is present, upper end corners 25 in the protrusion 24 are removed by portions corresponding to the width  $\Delta w$  and the depth  $\Delta h$ .

[0029]

In a case of conducting ion milling in Fig. 11(d) without forming the step d for the non-magnetic insulating layer 21 by using RIE in Fig. 11(c), since the etching rate for the Al series or Si series oxides used for the lower non-magnetic insulating layer 21 is slower as compared with the etching rate for the magnetic metal layer used for the protrusion 24, the upper end corners 25 of the protrusion 24

can not be removed.

[0030]

On the other hand, in a case of using an organic material such as a photoresist for the non-magnetic insulating layer 21, since the etching rate by the ion milling is higher for the organic material such as the photoresist as compared with the magnetic metal film, the upper end corners 25 of the protrusion can be removed as desired by conducting ion milling in Fig. 11(d) without providing the step d with respect to the lower non-magnetic insulating layer 21. In a case of using the photoresist for the lower non-magnetic insulating layer 21, it is necessary to remove the photoresist after forming the upper magnetic pole front end layer 8 and fill a non-magnetic insulating layer such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$  again, thereby preventing exposure of the photoresist to the air bearing surface 15.

[Fourth Embodiment], [Fifth Embodiment]

Each of the embodiments described above according to the invention illustrates an example based on the thin film recording head in which the lower magnetic pole front end layer 19 shown in Figs. 4 and 5 is present. However, also in a case of disposing a protrusion 24 on a lower magnetic pole 5 as shown in Fig. 12 and Fig. 13 based on the thin film recording head with no lower magnetic pole front end layer shown in Fig. 3, the effect of decreasing the off-track leakage magnetic fields can be obtained in the same manner as

in each of the embodiments (Fourth Embodiment).

Further, Fig. 3 and Fig. 4 show a recording/reproducing separated type magnetic head in which the lower magnetic pole and the upper magnetic field are used in common. However, as shown in Fig. 14 and Fig. 15, there may be adopted a so-called piggy-back structure in which the upper magnetic shield 26 is separate from the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole main layer 18 and a separation layer 27 made of a non-magnetic material is disposed between them. This can decrease leakage of recording magnetic fluxes from the lower magnetic poles 5, 18 to a reproducing element 4 to prevent instability of read output (Fifth Embodiment).

The recording/reproducing separated type magnetic heads shown in Fig. 12 and Fig. 13 show an example of a piggy-back type in which a separation layer 27 is provided.

[0031]

The lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 provided with the protrusion 24 in Embodiments 4 and 5 is preferably prepared by a so-called frame plating method or pattern plating method. In these methods, a conductive seed layer is formed on a substrate to which the lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 is to be formed by a sputtering method or the like and then a photoresist is coated further thereon. Then, the photoresist is exposed through the mask and then developed to

remove a portion to form the shape of the lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 having the protrusion 24, and a magnetic layer to serve as a magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 is formed to the portion by an electric plating method.

[0032]

The frame plating method is a method of forming a frame-like resist having a certain width so as to surround the desired shape of the magnetic pole, while the pattern plating method is a method of forming a resist pattern in which the resist shape is not a frame like shape, the magnetic pole has a concave shape and the periphery is constituted with the resist. Any of the methods is suitable for a method of manufacturing the width Lpfw for the protrusion 24 and the retraction amount Lpfld of the lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 with a good accuracy. Further, a lower magnetic pole front end layer 19 or a lower magnetic pole 5 with no protrusion 25 may be formed by a plating or sputtering method and an unnecessary portion may be removed through a mask by ion milling or the like to form a protrusion 24.

[0033]

In the thin film recording heads of Embodiments 4 and 5, since the magnetic film constituting the protrusion 24 is a principal portion which is in contact with a recording gap

together with the upper magnetic pole front end layer 8 to generate recording magnetic fields, it is necessary to use a magnetic material of high saturation magnetic flux density. Specifically, the material includes an FeCo layer or a magnetic layer containing a smaller amount of N, Ni and the like contained therein in order to increase corrosion resistance. They have a high saturation magnetic flux density up to 2.4T at the maximum. Further, CoNiFe film can provide a high saturation magnetic flux density ranging from 1.8T to 2.4T by controlling the composition. Further, an FeNi layer containing 50 wt% or more of Fe can provide a high saturation magnetic flux density of 1.6T or more.

[0034]

The layers described above may form the lower magnetic pole top layer 19 or the lower magnetic pole 5 by a single layer but it is also possible to constitute the same with two or more layers in which a magnetic layer having a high saturation magnetic flux density such as an FeCo layer can be used for the upper layer of the lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5 in contact with the recording gap, while a layer having a saturation magnetic flux density lower than the FeCo film has but having higher corrosion resistance such as a CoNiFe or 46NiFe layer can be used for the lower layer of the lower magnetic pole front end layer 19 or the lower magnetic pole 5.

## [Sixth Embodiment]

Fig. 16 and Fig. 17 show a sixth embodiment of the invention. An example of using a lower magnetic pole front end layer 19 is shown, but the situation is identical in a case only consisting of the lower magnetic pole 5 with no lower magnetic pole front end layer 19. In this embodiment, the lower magnetic pole front end layer 19 comprises a plurality of layers and a protrusion 24 is formed only on the upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer as shown in the drawing. Also in this case, since a portion of the upper end surface 23 of the lower magnetic pole front end layer 19 exposed to the air bearing surface 15 is spaced apart from the recording gap, off-track leakage magnetic fields can be decreased.

## [0035]

Fig. 18 and Fig. 19 show an example for the method of manufacturing a thin film recording head of this embodiment. Fig. 18 is a view in which the vicinity for the lower magnetic pole front end layer is viewed from the air bearing surface. As shown in Fig. 18(a), a lower layer 29 of the lower magnetic pole front end layer is formed on a lower magnetic pole main layer 18 by the frame plating method or pattern plating method, a lower non-magnetic insulating layer is filled and planarized, and a magnetic layer to serve as an upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer is formed thereon. The

upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer may be formed by using the same frame plating method or pattern plating method as described above but planarization by polishing is required again.

[0036]

While a relatively high accuracy is required for the thickness of the upper layer 28 for the lower magnetic pole front end layer in order to suppress variations in the recording characteristics, polishing is not always satisfactory in view of the accuracy for the film thickness. Accordingly, a so-called lift-off method is used in this embodiment. As shown in Fig. 18(b), a resist pattern 30 having a width for the upper portion larger than the width for the lower portion is formed on the magnetic layer of the upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer, for example, by a two-stage resist method or the like. The resist pattern 30 has substantially the same shape as that of the upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer having the protrusion 24.

[0037]

Then, as shown in Fig. 19(c), an unnecessary portion of the magnetic layer 28 of the upper layer of the lower magnetic pole top layer is removed by ion milling or the like using the resist pattern 30 as a mask to obtain a shape of the upper layer 28 of the lower magnetic front end layer having the

protrusion 24. Then, as shown in Fig. 19(d), a non-magnetic insulative film 21 is filled in a portion previously removed with the magnetic layer by a sputtering method or the like using the resist pattern 30 as a mask to provide the upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer and the non-magnetic insulating layer 21 of substantially planar shape. Further, the thin film recording head of the embodiment can be obtained by removing the mask pattern 30, forming the recording gap layer 6 and applying the same subsequent methods as those shown in Fig. 10 and Fig. 11.

[0038]

In this embodiment, a plated layer may be used for the magnetic layer used in the upper layer 28 of the lower magnetic pole front end layer but a sputtered layer may also be used. In a case of using sputtered layer, FeCoAlO series magnetic layers or FeCoN series magnetic layers which can not be used for the plating layer can be used and corrosion resistance can be improved.

[0039]

Each of the embodiments of the invention described above shows an example in which conductor coils comprise two layers and surround the upper layer rear end 16 of the upper magnetic pole but the conductor coils may comprise one layer or three layers. Further, as shown in Fig. 20, a constitution may be used in which lower layer conductor coils 12 are

present between the upper magnetic pole front end layer 8 and the upper magnetic pole rear end layer 9 and surround the upper magnetic pole rear end layer 9 while the upper layer conductor coils 12' surround the upper layer rear end 16 of the upper magnetic pole, or a constitution may be used in which the lower layer conductor coils 12 are present between the lower magnetic pole front end layer 19 and the lower magnetic pole rear end layer 20 and surround the lower magnetic pole rear end layer 20 (not illustrated).

[0040]

Further, as shown in Fig. 21, a constitution may be used in which lower layer conductor coils 12 are present between the lower magnetic pole front end layer 19 and the lower magnetic pole rear end layer 20, while upper layer conductor coils 12' are present between the upper magnetic pole front end layer 8 and the upper magnetic pole rear end layer 9 and, further, a constitution comprising only the lower layer conductor coils 12 in Fig. 21 may be used. Since the conductor coils are not present in the portion for the upper magnetic pole upper layer 13 in Fig. 21, the upper magnetic pole upper layer 13 has a planar shape. This is advantageous for the improvement in the high frequency characteristics since the substantial circumferential length of a magnetic circuit is short.

[0041]

Further, in the example of Fig. 22, the lower magnetic pole comprises the lower magnetic pole front end layer 19, the lower magnetic main layer 18, and the lower magnetic pole rear end layer 20, while the upper magnetic pole has no front end layer but includes only the planer upper magnetic pole upper layer 13 and the head end forms the track width. The conductor coils 12 are disposed between the lower magnetic pole top layer 19 and the lower magnetic pole rear end 20. In the constitution described above, since the circumferential length of the magnetic circuit can be shortened, this is advantageous for the improvement in frequency characteristics. Also in this constitution, the off-track leakage magnetic fields can be decreased and decays of signals in adjacent tracks can be prevented by providing the protrusion on the lower magnetic pole front end layer 19 and retracting the lower magnetic pole front end layer 19 other than the protrusion from the air bearing surface like in each of the embodiments.

[0042]

In each of the embodiments according to the invention described above, the effect of reducing the off-track leakage magnetic fields without lowering the recording magnetic fields in the thin film recording head can be obtained at any track width, and it can provide excellent effect, particularly, in a region of a narrow track width with the track width of 0.3  $\mu\text{m}$ .

or less, and a track pitch at 70 kTPI or more, which will create a significant problem in terms of the recording magnetic field intensity and off-track leakage magnetic fields. Further, it can provide an excellent effect when incorporated into a magnetic disk drive using a high coercivity medium having a recording medium coercivity of 279 kA/m (3500 Oe) or more.

[0043]

A magnetic disk drive which mounts any of the recording/reproducing separated type magnetic heads of the embodiments described above comprises a magnetic recording medium and a motor for driving the same, a mechanism for positioning the recording/reproducing separated type magnetic head, circuitry for controlling the above elements, and circuitry for supplying recording signals to the recording/reproducing separated type magnetic head and processing read signals from the recording/reproducing separated type magnetic head, and provides a magnetic recording medium coercivity of 279 kA/m (3500 Oe) or more and a track pitch of 70 kTPI or more.

[0044]

Further, the present invention also provides an excellent effect in magnetic disk array apparatus incorporated with a magnetic disk drive using the recording/reproducing separated type magnetic head of the invention.

[0045]

Features for the method of manufacturing the thin film recording head in the recording/reproducing separated type magnetic head according to the invention as has been described above is summarized as below.

[0046]

The lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 including the protrusion 24 is formed by a frame plating method or a pattern plating method.

[0047]

The portion of the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 retracted from the air bearing surface 15 is filled with Al-containing oxides, and the filled oxide layer 21 is etched selectively by a reactive ion etching method using a boron series gas, to provide a step d between the upper end surface of the protrusion 24 and the upper end surface of the oxide layer 21.

[0048]

Further, a portion of the lower magnetic pole 5 or a portion of the lower magnetic pole front end layer 19 retracted from the air bearing surface 15 is filled with an Si-containing oxide, and the filled oxide layer 21 is etched selectively by a reactive ion etching method using a fluorine series gas, to provide a step d between the upper end surface of the protrusion 24 and the upper end surface of the oxide

layer 21.

[0049]

An unnecessary portion of the magnetic layer of the upper layer of the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 is removed by using a resist pattern 30 as a mask and a non-magnetic insulating layer 21 is formed on a removed portion using the identical resist pattern 30 as a mask such that the upper surface of the upper layer of the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 and the upper surface of the non-magnetic insulating layer 21 are substantially planarized.

[Effect of the Invention]

As has been described above according to the present invention, the off-track leakage magnetic fields can be decreased greatly to provide a recording/reproducing separated type magnetic head capable of attaining a narrow track pitch, by providing a protrusion on the lower magnetic pole front end layer or the lower magnetic pole of the thin film recording head in the direction of the air bearing surface.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

Fig. 1 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a first embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 2]

Fig. 2 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a second embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 3]

Fig. 3 is a cross sectional view of a conventional recording/reproducing separated type magnetic head.

[Fig. 4]

Fig. 4 is a cross sectional view of a conventional recording/reproducing separated type magnetic head.

[Fig. 5]

Fig. 5 is a perspective view of a thin film recording head of a conventional recording/reproducing separated type magnetic head shown in Fig. 4, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 6]

Fig. 6 is a view comparing off-track leakage magnetic fields between a thin film recording head according to the first embodiment of the present invention and the conventional thin film recording head.

[Fig. 7]

Fig. 7 is a view comparing off-track leakage magnetic fields between the thin film recording head according to the second embodiment of the present invention and the

conventional thin film recording head.

[Fig. 8]

Fig. 8 is a perspective view of a thin film recording head front end of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a third embodiment of the present invention.

[Fig. 9]

Fig. 9 is a graph showing off-track leakage magnetic fields of the thin film recording head of the recording/reproducing separated type magnetic head according to the third embodiment of the present invention.

[Fig. 10]

Fig. 10 is a view showing a method of manufacturing the thin film recording head of the recording/reproducing separated type magnetic head according to the third embodiment of the present invention.

[Fig. 11]

Fig. 11 is a view showing a method of manufacturing the thin film recording head succeeding to Fig. 10.

[Fig. 12]

Fig. 12 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a fourth embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 13]

Fig. 13 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a fourth embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 14]

Fig. 14 is a cross sectional view of a recording/reproducing separated type magnetic head according a fifth embodiment of the present invention.

[Fig. 15]

Fig. 15 is a cross sectional view of a recording/reproducing separated type magnetic head according a fifth embodiment of the present invention.

[Fig. 16]

Fig. 16 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to a sixth embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 17]

Fig. 17 is a perspective view of a thin film recording head of a recording/reproducing separated type magnetic head according to the sixth embodiment of the present invention, as viewed in the direction of an air bearing surface.

[Fig. 18]

Fig. 18 is a view showing a method of manufacturing the thin film recording head of the recording/reproducing

separated type magnetic head according to the sixth embodiment of the present invention.

[Fig. 19]

Fig. 19 is a view showing a method of manufacturing the thin film recording head succeeding to Fig. 18.

[Fig. 20]

Fig. 20 is a cross sectional view showing an example for the arrangement of conductor coils applied to each of the embodiments according to the present invention.

[Fig. 21]

Fig. 21 is a cross sectional view showing an example for the arrangement of conductor coils applied to each of the embodiments according to the present invention.

[Fig. 22]

Fig. 22 is a cross sectional view showing an example for the arrangement of conductor coils applied to each of the embodiments according to the present invention.

[Description of Symbols]

- 1: substrate
- 2: lower magnetic shield
- 3: reproducing gap
- 4: reproducing element
- 5: lower magnetic pole
- 6: recording gap layer
- 7: depth defining non-magnetic layer

- 8: upper magnetic pole front end layer
  - 9: upper magnetic pole rear end layer
  - 10: non-magnetic insulating layer
  - 11: conductor coil insulating layer
  - 12: lower layer conductor coil
  - 12': upper layer conductor coil
  - 13: upper magnetic pole upper layer
  - ( 14: protection layer
  - 15: air bearing surface
  - 16: rear end of upper magnetic pole upper layer
  - 17: recording medium
  - 18: lower magnetic pole main layer
  - 19: lower magnetic pole front end layer
  - 20: lower magnetic pole rear end layer
  - 21: lower non-magnetic insulating layer
  - 22: trimmed portion
  - ( 23: front end surface of lower magnetic pole front end layer
  - 24: protrusion
  - 25: front end corners for protrusion
  - 26: upper magnetic shield
  - 27: separation layer
  - 28: upper layer of lower magnetic pole front end layer
  - 29: lower layer of lower magnetic pole front end layer
  - 30: resist pattern
- Tw: track width

Gd: gap depth

GL: gap length

Tr: trim height

Lpfw: width for protrusion

Lpfd: retraction amount of lower magnetic pole or lower  
magnetic pole front end layer

Lp2h: height for lower magnetic front end layer

( Ly: magnetic pole extending position for the upper layer  
magnetic pole front end layer

Up1t: thickness for upper magnetic pole front end layer

Up2t: thickness for upper magnetic pole upper layer

Lp1t: thickness for lower magnetic pole main layer

[Name of Document] Abstract

[Abstract]

[Object]

A recording/reproducing separated type magnetic head having a narrow track thin film recording head having high recording magnetic fields and low off-track leakage magnetic fields, and suitable for narrow track pitch is provided.

[Solving Means]

A protrusion 24 having a width Lpfw equal to or somewhat larger than a track width Tw and protruding to the air bearing surface is provided on a lower magnetic pole 5 or lower magnetic pole front end layer 19. The lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole front end layer 19 other than the protrusion is retracted by Lpf d from the air bearing surface 15. With the constitution, since the upper end surface 23 of the lower magnetic pole 5 or the lower magnetic pole to end layer 19 that generates the leakage magnetic fields in the off-track portions is not exposed to the air bearing surface 15, the leakage magnetic fields Hxz in the off-track portions can be decreased greatly.

[Selected Figure] Fig. 1

【書類名】 特許願  
【整理番号】 NT02P0873  
【提出日】 平成14年11月26日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G11B 5/39  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内  
【氏名】 大友 茂一  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内  
【氏名】 福井 宏  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内  
【氏名】 芳田 伸雄  
【特許出願人】  
【識別番号】 000005108  
【氏名又は名称】 株式会社日立製作所  
【代理人】  
【識別番号】 100068504  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 小川 勝男  
【電話番号】 03-3661-0071  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100086656  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100094352

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐々木 孝

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 記録再生分離型磁気ヘッド

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に設けられた下部磁気シールドと上部磁気シールドとの間に絶縁層を介して配置された再生素子を有する再生ヘッドと、該再生ヘッドに隣接して設けられ一端に突出部が形成された下部磁極と、該下部磁極の上に磁気ギャップ層を介して設けられ、前記突出部を含む一端側に磁気ギャップを構成し、該磁気ギャップと反対側で前記下部磁極に接続された上部磁極と、該上部磁極と前記下部磁極の間に絶縁層を介して配置された導体コイルとを有する記録ヘッドとを具備することを特徴とする記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項 2】

基板上に設けられた下部磁気シールドと上部磁気シールドとの間に絶縁層を介して配置された再生素子を有する再生ヘッドと、該再生ヘッドに隣接して設けられ一端に突出部が形成され該突出部の上部の両端角部が除去された下部磁極と、

該下部磁極の上に磁気ギャップ層を介して設けられ、前記突出部を含む一端側に磁気ギャップを構成し、該磁気ギャップと反対側で前記下部磁極に接続された上部磁極と、該上部磁極と前記下部磁極の間に絶縁層を介して配置された導体コイルとを有する記録ヘッドとを具備することを特徴とする記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項 3】

基板上に設けられた下部磁気シールドと上部磁気シールドとの間に絶縁層を介して配置された再生素子を有する再生ヘッドと、該再生ヘッドに隣接して設けられた下部磁極と、該下部磁極の一端の上に設けられその一端に突出部が形成された下部磁極先端層と、前記下部磁極の他端の上に設けられた下部磁極後端層と、該下部磁極後端層と前記下部磁極先端層との間を充填する非磁性絶縁層と、前記下部磁極先端層、非磁性絶縁層及び下部磁極後端層の上に磁気ギャップ層を介して設けられ、前記突出部を含む一端側に磁気ギャップを構成し、前記下部磁極後端層に接続された上部磁極と、該上部磁極と前記下部磁極の間に絶縁層を介して配置された導体コイルとを有する記録ヘッドとを具備することを特徴とする記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項 4】

基板上に設けられた下部磁気シールドと上部磁気シールドとの間に絶縁層を介して配置された再生素子を有する再生ヘッドと、該再生ヘッドに隣接して設けられた下部磁極と、該下部磁極の一端に設けられた複数の層から構成されその最上層の一端に突出部が形成された下部磁極先端層と、前記下部磁極の他端の上に設けられた下部磁極後端層と、該下部磁極後端層と前記下部磁極先端層との間を充填する非磁性絶縁層と、前記下部磁極先端層、非磁性絶縁層及び下部磁極後端層の上に磁気ギャップ層を介して設けられ、前記突出部を含む一端側に磁気ギャップを構成し、前記下部磁極後端層に接続された上部磁極と、該上部磁極と前記下部磁極の間に絶縁層を介して配置された導体コイルとを有する記録ヘッドとを具備することを特徴とする記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項 5】

前記下部磁極あるいは下部磁極先端層の前記突出部を含む一端側の前記上部磁

極との対向部分に第2の突出部が形成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項6】

前記上部磁極は前記磁気ギャップを構成する部分に位置する上部磁極先端層と、該上部磁極先端層に繋がる上部磁極上層と、該上部磁極上層と繋がり前記下部磁極後端層に接続された上部磁極後端層とを有することを特徴とする請求項3乃至5のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項7】

前記下部磁極あるいは下部磁極先端層に形成された前記突出部の深さは0.01 $\mu\text{m}$ ~1.0 $\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項8】

前記下部磁極あるいは下部磁極先端層に形成された前記突出部の幅は0.26 $\mu\text{m}$ ~0.6 $\mu\text{m}$ であり、前記第2の突出部の幅は少なくともトラック幅を有することを特徴とする請求項5乃至7のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項9】

前記導体コイルは2層以上積層され、各導体コイルは端部で直列に接続されていることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項10】

前記導体コイルは2層で構成され、下層の導体コイルは前記上部磁極先端層と上部磁極後端層の間に配置されていることを特徴とする請求項6乃至9のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

【請求項11】

前記導体コイルは2層で構成され、下層の導体コイルは前記下部磁極先端層と下部磁極後端層の間に配置され、上層の導体コイルは前記上部磁極先端層と上部磁極後端層との間に配置されていることを特徴とする請求項6乃至9のいずれか1項に記載の記録再生分離型磁気ヘッド。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は磁気ディスク装置に使用される記録再生分離型磁気ヘッドに係り、特に高記録密度、高トラックピッチで使用される狭トラック幅を有する薄膜記録ヘッドに関する。

### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年、磁気ディスク装置の記録密度の向上に伴って、記録媒体の性能向上とともに記録再生特性に優れた薄膜磁気ヘッドの開発が強く要求されている。現在、再生ヘッドとしては、高い再生出力を得ることができるMR（磁気抵抗効果）素子やGMR（巨大磁気抵抗効果）素子を用いたヘッドが使用されている。また、さらに高い再生感度の得られるTMR（トンネル磁気抵抗）素子も開発されている。一方、記録ヘッドには従来の電磁誘導を利用した誘導型の薄膜記録ヘッドが用いられており、以上の再生ヘッドと記録ヘッドを一体に形成した記録再生分離型薄膜磁気ヘッドが用いられている。

### 【0003】

薄膜記録ヘッドの記録特性を向上するためには、高保磁力の記録媒体を十分に記録するために強くかつ急峻な記録磁界を発生する必要がある。ところが、トラック密度向上に伴うトラック幅の減少により、薄膜記録ヘッドの磁極先端部に磁気飽和が生じ、記録磁界が低下する問題が発生する。また、記録磁界がトラック幅のみでなく、隣接トラック部にも漏洩する問題がある。

### 【0004】

従来の薄膜磁気ヘッドとして、特許文献1の図2に記載されるように、上部磁極を上部磁極先端層と上部磁極上層に分離する構造がある。この構造は図3に示すように、非磁性材からなる基板1の上に、再生分解能を向上し外部磁界の影響を排除するための軟磁性材からなる下部磁気シールド2を設け、その上に非磁性絶縁材よりなる再生ギャップ3を設け、再生ギャップ3中にMRまたはGMR素子からなる再生素子4を配置する。この上に上部磁気シールドを兼用する軟磁性

材料よりなる下部磁極 5 を設け、さらに記録ギャップ層 6 を配置する。この上に、ギャップデプスを規定するためのデプス規定用非磁性層 7 を設け、さらに、上部磁極先端層 8 および上部磁極後端層 9 を設け、これらの間隙を非磁性絶縁層 10 で埋め込み、平坦化する。この上に、コイル絶縁層 11 を設け、コイル絶縁層 11 中に下層導体コイル 12 および上層導体コイル 12' を配置する。なお、導体コイルは一層のみの場合もある。さらに上部磁極上層 13 を設け、ヘッド全体を保護層 14 で保護する。

#### 【0005】

上部磁極先端層 8 の浮上面 15 における幅はトラック幅に相当する幅に加工されている。導体コイル 12、12' は上部磁極上層後端部 16 を周回する如く構成する。導体コイル 12、12' に記録電流を印加することにより、上部磁極上層 13 および上部磁極後端層 9、下部磁極 5 に磁束を誘起し、記録ギャップ先端より発生する記録磁界により、浮上面 15 から微少距離離れて移動する記録媒体 17 に信号を記録する。記録ギャップ近傍には下部磁極 5 より磁束が集中し、この結果高い記録磁界が発生する。上部磁極先端層 8 が記録ギャップ層 6 と接触する長さをギャップデプス  $G_d$  と称し、これを減少するほど磁束が磁極先端に集中するために記録磁界が増加する。

#### 【0006】

また、狭トラック幅形成の精度を向上する方法として、図 4 に示す記録再生分離型薄膜磁気ヘッドが特許文献 2 で提案されている。このヘッドでは、下部磁極主層 18 の上に下部磁極先端層 19 および下部磁極後端層 20 を設け、これらの間隙を下部非磁性絶縁層 21 で埋め込み、平坦化して記録ギャップ層 6 を形成し、この平坦面上にレジストフレームを作成して上部磁極先端層 8 を形成する。これにより、狭トラック幅を高精度で形成することが出来る。

#### 【0007】

図 4 に示す記録再生分離型薄膜磁気ヘッドのヘッド先端部の斜視図を、図 5 に示す。図 3 および図 4 に示す薄膜磁気ヘッドとも、下部磁極 5 および下部磁極先端層 18 の先端部にはトラック幅  $T_w$  とほぼ同等の幅を有するトリム部 22 を形成し、これによりトラック幅  $T_w$  の外側に漏洩するいわゆるフリンジ磁界を低減

している。

#### 【0008】

特許文献1

特開2000-276707号公報（第7-8頁、図2）

特許文献2

特開2002-157705号公報（第3頁、図1-図2）

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

前記従来技術において、トリム部22は、上部磁極先端層8のトラック形成部をマスクとして、イオンミリングあるいはリアクティブイオンエッティングにより下部磁極5あるいは下部磁極先端層19を掘り込んで形成する。このため、トリム部22の高さTrは記録ギャップの約2~3倍程度が限度であり、トリム部22の高さを大きくすることは製造上極めて困難である。したがって、トラック幅の外側に漏洩する磁界を十分に小さくすることが困難であり、トラックピッチの減少に伴って、隣接トラックに余分な信号を記録したり、隣接トラックの記録信号を多数回の記録動作を行うことにより徐々に消去してしまうという可能性がある。

#### 【0010】

本発明の目的は、薄膜記録ヘッドのオフトラック漏洩磁界を大幅に減少し、狭トラックピッチを実現する記録再生分離型磁気ヘッドを提供することである。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明の記録再生分離型磁気ヘッドは、下部磁極あるいは下部磁極先端層に、トラック幅に等しいかやや広い幅を有する浮上面側に突出する突出部を設け、突出部以外の下部磁極あるいは下部磁極先端層は浮上面より後退させる。このような構成をとることにより、オフトラック部の漏洩磁界が発生する下部磁極あるいは下部磁極先端層の上端面が浮上面に露出しないため、オフトラック部の漏洩磁界を大幅に低減することができる。

#### 【0012】

下部磁極あるいは下部磁極先端層に形成した突出部に上部磁極先端層のトラック幅部分を形成する場合、突出部と上部磁極先端層のトラック幅部分の位置合わせが困難となる。突出部の幅と上部磁極先端層のトラック幅が同一であることが、オフトラック漏洩磁界の少ない記録磁界分布を得るために好ましいが、この場合、位置合わせが難しく、上部磁極と下部磁極のトラック幅ずれを生じ結果的に実効トラック幅の減少、記録磁界の減少を生ずる恐れがある。本発明の記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドでは、下部磁極あるいは下部磁極先端層に設ける突出部の幅を上部磁極先端層のトラック幅より大きく設定し、この上に上部磁極先端層のトラック部を形成した後、上部磁極先端層のトラック幅部分をマスクとして、イオンミリングあるいはリアクティブイオンエッティング等により前記突出部のトラック幅より広い部分を除去してトリム部を形成し、下部磁極と上部磁極のトラック幅ずれを防止する。この場合、突出部の初期の幅をトラック幅に比べて適正な値とすることにより、トラックの位置合わせを可能にし、かつオフトラック漏洩磁界も低減することが出来る。

#### 【0013】

また、本発明の記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドでは、前記突出部のトラック幅を構成する部分以外の上端角部を除去する。これにより、突出部の幅を大きくしてもオフトラック漏洩磁界を低減することができる。

#### 【0014】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明を実施例により詳細に説明する。

##### 【実施例1】、【実施例2】

本発明の第1の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッド先端部近傍の斜視図を図1に示す。ヘッド断面の構造は図4と同様である。なお、本図では、下部磁極主層18、下部磁極先端層19、上部磁極先端層8、上部磁極上層13のみを示しており、磁気シールド、導体コイル、絶縁層、保護膜等の表示を省略している。下部磁極先端層19にほぼトラック幅Twの幅を有する突出部24を設ける。この場合、突出部24以外の下部磁極先端層19は浮上面より深さLpf離れた位置に設置する。また、本発明の第2の実施例による薄膜記録ヘッ

ド図2に示す。下部磁極先端層19にトラック幅Twより広い幅Lpfwを有する突出部24を設け、突出部24の下部磁極先端層19を浮上面から距離Lpfldだけ後退させる。

#### 【0015】

上記の構成を取ることによるオフトラック漏洩磁界を計算機シミュレーションを用いて求めた。図1および図2に示すヘッド構造において、トラック幅Tw=0.25 μm、記録ギャップ長GL=0.1 μm、ギャップデプスGd=1 μm、トリム高さTr=0.22 μm、下部磁極高さLp2h=1.5 μm、上部磁極絞り位置Ly=1 μm、下部磁極主層膜厚Lp1t=2 μm、上部磁極先端層膜厚Up1t=1.5 μm、上部磁極上層膜厚Up2t=2 μmとした。薄膜記録ヘッドに使用する磁性材料として、下部磁極主層18および上部磁極上層13には45Ni-Fe膜(飽和磁束密度Bs=1.68T)、下部磁極先端層19および上部磁極先端層8にはCoNiFe膜(Bs=2.2T)を用いた。起磁力は0.54ATとした。また、比較例として図5に示した従来の薄膜記録ヘッドを、突出部24以外は同一の寸法および同一の磁性材料で作製した。

#### 【0016】

図6に、突出部24の幅Lpfwをトラック幅Twと同じ0.25 μmとした時のオフトラック方向の漏洩磁界Hxzの分布を示す。Zはトラック幅方向で、Z=0はトラック幅中心であり、Hxzはヘッド走行方向磁界成分Hxとトラック幅方向磁界成分Hzのベクトル和であり、ヘッド走行方向Xを変化した時の各Z位置での最大値を示している。図のように、Lpfld=0すなわち突出部24がない場合(図5に示した従来例)、オフトラック位置Z=0.5 μmでの磁界は約320kA/m(40000e)と高く、さらにZが大きくなっても磁界はあまり減衰しない。一方、第1の実施例の薄膜記録ヘッドのように突出部24を形成した場合、Lpfldが0.15 μmから0.5 μmのいずれの場合もオフトラックでの磁界は大幅に減少し、Z=0.5 μmでの磁界は220kA/m(27500e)以下となる。

#### 【0017】

このように突出部24がない図5に示すヘッドにおいては、上部磁極先端層8から下部磁極先端層19の上端面23に漏洩磁束が流れるため、下部磁極先端層の上端面23の浮上面位置で比較的高い漏洩磁界Hxzが発生する。一方、図1に

示した第1の実施例の薄膜記録ヘッドでは、下部磁極先端層19の上端面2.3が浮上面15より離れているため、浮上面上でのオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ は大きく減衰する。オフトラック漏洩磁界の低下により、隣接トラックに記録された信号が消去、減衰するという現象は大幅に低減し、狭トラックピッチの磁気記録装置を提供することが可能となる。

#### 【0018】

上記のように、図1に示した構成によりオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ を大幅に低減した薄膜記録ヘッドを提供することが出来る。図1の薄膜記録ヘッドを製造するには、上部磁極先端層8をマスクとしてイオンミリングにより突出部24を形成することになるが、加工深さをトリム部22の形成に比較して大幅に増加する必要がある。従って、突出部24をあらかじめ備えた下部磁極先端層19を形成し、この上に上部磁極先端層8を形成する。上部磁極先端層8の形成は、下部磁極先端層19の上の記録ギャップ層6上にレジストを塗布し、下部磁極先端層19の形状になるべき部分をマスクを通して露光、現像して除去し、さらに除去した部分に上部磁極先端層8となる磁性膜をメッキ法により形成する。

#### 【0019】

図2に示される本発明の第2の実施例では、突出部24の幅 $L_{pfw}$ をトラック幅 $T_w$ より大きく形成する。この上に上部磁極先端層8を形成した後、上部磁極先端層8のトラック部をマスクとしてイオンミリング等によりトリム部22を形成し、下部磁極先端層19のトリム部22の幅を上部磁極先端層8のトラック幅 $T_w$ とほぼ同等となるようにする。その他の構成は前記第1の実施例と同じである。

#### 【0020】

図7に、下部磁極先端層19の突出部24の幅 $L_{pfw}$ を変化したときのオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ の変化を示す。ここで、 $L_{pfw}=0.15\mu m$ とした。図のように、 $L_{pfw}$ をトラック幅( $=0.25\mu m$ )より $0.35\mu m$ すなわち2.4倍大きい $0.6\mu m$ としても、オフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ の低減効果は維持され、トラック幅より $0.55\mu m$ すなわち3.2倍大きい $0.8\mu m$ とした場合には $L_{pfw}=0$ すなわち突出部24を設けない場合に比較して部分的にオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ が大きくなる。

#### 【0021】

本発明の第2の実施例による薄膜記録ヘッドによれば、下部磁極先端層19の突出部24の幅をトラック幅Twの2.4倍大きくすることにより、上部磁極先端層8のトラック幅Twと突出部24との合わせ誤差を吸収して、かつオフトラック漏洩磁界Hxzを低減することができる。

#### 【0022】

以上のとおり、突出部24の幅Lpfwはトラック幅Twの2.4倍以下であればオフトラック漏洩磁界Hxzの低減効果が得られる。そして突出部24以外の下部磁極先端層19の浮上面15からの後退量Lpfldは0を超える値であれば効果があるが実質的には $0.01\mu m$ 以上で効果が見られる。また、Lpfldが大きくなつた場合にはオフトラック漏洩磁界Hxzの減少効果は増加するが、トラック中心での記録磁界が低下する傾向があり、これを防ぐために $1\mu m$ 以下、望ましくは $0.5\mu m$ 以下とすることが好ましい。

#### 【0023】

なお、下部磁極主層18あるいは下部磁極先端層19と上部磁極主層13あるいは上部磁極先端層8の幅を浮上面15から浮上面の奥行き方向に渡ってほぼ同一の幅に構成する薄膜記録ヘッドもあり得るが、前記実施例の薄膜記録ヘッドにおいては、下部磁極主層18あるいは下部磁極先端層19の幅はヘッド後部から浮上面近傍に渡って、基本的にトラック幅Twおよび突出部24の幅Lpfwより大きく構成する。これにより記録磁界の低下を防止する特徴を有する。具体的には下部磁極主層18あるいは下部磁極先端層19の幅は浮上面からLpfld以上の位置ではトラック幅Twおよび突出部24の幅Lpfwより大きく、Lpfld以下の位置では突出部24の幅となる。

#### 【0024】

##### [実施例3]

本発明の第3の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドを図8に示す。第3の実施例では、突出部24の幅を大きくして、上部磁極先端層8との合わせ誤差を吸収しやすくするために、突出部24の上端角部25を幅 $\Delta w$ 、深さ $\Delta h$ に渡って除去する。その他の構成は図2と同じであるため図示は省略

してある。図9に $L_{pf}d=0.15\mu m$ 、 $L_{pf}w=0.8\mu m$ とした場合のオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ を示す。図のように、 $\Delta w=0$ 、 $\Delta h=0$ の場合に比較して、 $\Delta w$ 、 $\Delta h$ を大きくすることによりオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ を減少することが出来る。従って、図2に示した実施例2の薄膜記録ヘッドにおいて、突出部24の幅 $L_{pf}w$ をトラック幅 $T_w$ より $0.55\mu m$ 大きい $L_{pf}w=0.8\mu m$ とした場合においても、突出部24の上端角部25を除去することによりオフトラック漏洩磁界 $H_{xz}$ を低減することが出来る。従って、突出部24の幅 $L_{pf}w$ を大きくでき、上部磁極先端層8のトラック部との位置合わせを容易に行うことが出来る。

#### 【0025】

本実施例の薄膜記録ヘッドの製造方法の概略を図10及び図11に示す。本実施例の薄膜記録ヘッドを製造するには、図4において、下部磁極先端層19および下部磁極後端層20を形成した後、これらの間隙を下部非磁性絶縁層21で埋め込み、これらを研磨により平坦化し、さらにこの上に記録ギャップ層6を形成する。

#### 【0026】

図10(a)は記録ギャップ層6を形成した状態を浮上面15から見たヘッド先端近傍を示す。下部磁極主層18の上に下部磁極先端層19の突出部24が形成されており、その両側に下部非磁性絶縁層21が埋め込まれ、これらの上に記録ギャップ層6が形成されている。次に図10(b)に示すように、上部磁極先端層のトラック部分8を突出部24の上に形成する。

#### 【0027】

さらに、図11(c)に示すように、リアクティブイオンエッティング(RIE)により、酸化物からなる下部非磁性絶縁層21および記録ギャップ層6を選択的にエッティングし、突出部24の上端面と下部非磁性絶縁層21の上端面との間に段差dを形成する。この場合、下部非磁性絶縁層21および記録ギャップ層6を $Al_2O_3$ 等のAl系酸化物を用いた場合にはエッティングガスとして $BCL_3$ などの塩素系ガスを使用する。また、下部非磁性絶縁層21および記録ギャップ層6に $SiO_2$ などのSi系酸化物を用いた場合には、 $CF_3$ あるいは $CF_4$ などのフッ素系ガスを使用する。これにより、突出部24に使用する金属磁性膜と下部非磁性絶縁層21および記録

ギャップ層6とのエッチングレートの比が10~100と大きくとれるため、下部非磁性絶縁層21の段差dを容易に形成することが出来る。

#### 【0028】

次に、図11(d)に示すように、上部磁極先端層のトラック部8をマスクとして、イオンミリング等により突出部24の上面を除去する。これにより、トリム部22を形成する。また、下部非磁性絶縁層21との段差dが存在するために、突出部24において $\Delta w$ の幅、 $\Delta h$ の深さに渡って、上端角部25が除去される。

#### 【0029】

ここで、図11(c)においてRIEを用いて下部非磁性絶縁層21の段差dを形成せずに、図11(d)においてイオンミリングを行った場合には、下部非磁性絶縁層21に用いるAl系またはSi系酸化物のエッチングレートが突出部24に用いる金属磁性膜のエッチングレートに比較して遅いために、突出部24の上端角部25を除去できない。

#### 【0030】

一方、下部非磁性絶縁層21としてフォトレジスト等の有機物を用いた場合には、金属磁性膜に比べてフォトレジスト等の有機物のほうがイオンミリングによるエッチングレートが高いため、RIEにより下部非磁性絶縁層21との段差dを形成しなくとも、図11(d)においてイオンミリングを行うことにより、所望の突出部上端角部25の除去を行うことができる。下部非磁性絶縁層21としてフォトレジストを用いる場合には、上部磁極先端層8を形成後、前記フォトレジストを除去し、再度 $Al_2O_3$ などの非磁性絶縁層を充填して浮上面15にフォトレジストが露出するのを防ぐ必要がある。

#### 【実施例4】、【実施例5】

本発明の上記各実施例においては、図4および図5に示した下部磁極先端層19が存在する薄膜記録ヘッドを基にした例を示したが、図3に示した下部磁極先端層がない薄膜記録ヘッドを基に、図12および図13のように、下部磁極5に突出部24を設けても、前記各実施例と同様のオフトラック漏洩磁界の低減効果が得られる。(実施例4)

また、図3および図4には、下部磁極と上部磁気シールドを兼用した記録再生

分離型磁気ヘッドを示したが、図14および図15に示すように、上部磁気シールド26と下部磁極5あるいは下部磁極主層18を分離し、これらの間に非磁性材からなる分離層27を設けた、いわゆるピギーバック構造としても良い。これにより、下部磁極5、18から再生素子4に漏洩する記録磁束が低減し、再生出力の不安定性を防止できる。(実施例5)

なお、前記図12および図13に示される記録再生分離型磁気ヘッドは、分離層27を設けたピギーバック型の例を示したものである。

#### 【0031】

実施例4及び5の突出部24を設けた下部磁極先端層19あるいは下部磁極5はいわゆるフレームメッキ法あるいはパターンメッキ法により作製するのが好ましい。これらの方では、下部磁極先端層19あるいは下部磁極5を形成すべき基体に導電性のシード膜をスパッタリング法等により形成し、さらにこの上にフォトレジストを塗布する。次に、マスクを通してフォトレジストを露光、現像し、突出部24を有する下部磁極先端層19あるいは下部磁極5の形状となるべき部分を除去し、この部分に電気メッキ法により下部磁極先端層19あるいは下部磁極5となるべき磁性膜を形成する。

#### 【0032】

フレームメッキ法は所望の磁極形状を囲むように一定の幅を有する枠状のレジストを形成する方法であり、パターンメッキ法はレジスト形状が枠状ではなく、磁極の形状が凹部となり周囲がレジストで構成されるレジストパターンを形成する方法である。いずれの方法でも、突出部24の幅Lpfwおよび下部磁極先端層19あるいは下部磁極5の後退量Lpdfdを精度良く作製する方法として好適である。また、突出部24のない下部磁極先端層19あるいは下部磁極5をメッキ法あるいはスパッタリング法により形成し、マスクを通して不要部をイオンミリング等により除去して突出部24を形成してもよい。

#### 【0033】

実施例4及び5の薄膜記録ヘッドにおいて、突出部24を構成する磁性膜は上部磁極先端層8とともに記録ギャップに接して記録磁界を発生する主要部であるため、飽和磁束密度の高い磁性材料を用いる必要がある。具体的にはFeCo膜ある

いはこれに耐食性を増加するためのN、Ni等を少量含む磁性膜がある。これらは最大2.4Tまでの高い飽和磁束密度を有する。また、CoNiFe膜は組成を調整することにより1.8Tから2.4Tまでの高い飽和磁束密度が得られる。さらに、Feを50wt%以上含むFeNi膜は1.6T以上の高い飽和磁束密度が得られる。

#### 【0034】

これらの膜は単独で下部磁極先端層19あるいは下部磁極5を形成してもよいが、これらを2層以上で構成し、記録ギャップに接する下部磁極先端層19あるいは下部磁極5の上層部にはFeCo膜などの高飽和磁束密度を有する磁性膜を使用し、下部磁極先端層19あるいは下部磁極5の下層部にはCoNiFe、46NiFe膜などのように、FeCo膜よりは飽和磁束密度が低下するが耐食性が高い膜を使用することも出来る。

#### 【実施例6】

本発明の第6の実施例を図16および図17に示す。ここでは、下部磁極先端層19を使用する例を示すが、下部磁極先端層19がなく下部磁極5のみの場合も同様である。本実施例では図のように、下部磁極先端層19を複数の層で構成し、下部磁極先端層上層部28のみに突出部24を形成する。このようにした場合でも下部磁極先端層19の上端面23が浮上面15に露出する部分が記録ギャップから離れるために、オフトラック漏洩磁界を低減することができる。

#### 【0035】

本実施例の薄膜記録ヘッドの製造方法の例を図18及び図19に示す。図18は下部磁極先端層近傍を浮上面より見た図である。図18(a)に示すように、下部磁極主層18の上に前記のフレームメッキ法あるいはパターンメッキ法により下部磁極先端層下層部29を形成し、下部非磁性絶縁層を充填して平坦化し、この上に下部磁極先端層上層部28となるべき磁性膜を形成する。下部磁極先端層上層部28の形成には前記と同様のフレームメッキ法あるいはパターンメッキ法を使用してもよいが、この場合、再度研磨等により平坦化加工が必要となる。

#### 【0036】

下部磁極先端層上層部28の膜厚は記録特性のばらつきを押さえるために比較的高精度が要求されるが、研磨加工は膜厚精度の点で必ずしも十分でない場合が

ある。従って、本実施例ではいわゆるリフトオフ法を用いる。図18(b)に示すように、下部磁極先端層上層部28の磁性膜上に2段レジスト法等により上部の幅が下部の幅より大きいレジストパターン30を形成する。このレジストパターン30は突出部24を有する下部磁極先端層上層部28の形状とほぼ等しくする。

#### 【0037】

次に図19(c)に示すように、前記レジストパターン30をマスクとしてイオンミリング等により下部磁極先端層上層部の磁性膜28の不要部を除去し、突出部24を有する下部磁極先端層上層部28の形状が得られる。次に、図19(d)に示すように、先に磁性膜を除去した部分に前記レジストパターン30をマスクとしてスパッタリング法などにより非磁性絶縁層21を埋め込む。これにより、下部磁極先端層上層部28と非磁性絶縁層21がほぼ平坦な形状が得られる。さらに、前記マスクパターン30を除去し、記録ギャップ層6を形成して、その後は図10及び図11に示したと同様の方法により、本実施例の薄膜記録ヘッドが得られる。

#### 【0038】

本実施例において、下部磁極先端層上層部28に使用する磁性膜はメッキ膜を使用してもよいが、スパッタ膜を使用することが出来る。スパッタ膜を使用した場合、メッキ膜では使用できない、FeCoAlO系磁性膜、FeCoN系磁性膜等が使用でき、耐食性向上が可能となる。

#### 【0039】

前述の本発明の各実施例においては、図3および図4のように、導体コイルが2層で上部磁極上層後端部16を周回するように構成された例を示したが、導体コイルは1層もしくは3層でもよく、また、図20に示すように、下層導体コイル12が上部磁極先端層8と上部磁極後端層9の間にあって上部磁極後端層9を周回し、上層導体コイル12'が上部磁極上層後端部16を周回する場合、あるいは、下層導体コイル12が下部磁極先端層19と下部磁極後端層20の間にあって下部磁極後端層20を周回する場合等がある(図示せず)。

#### 【0040】

また、図21に示すように、下層導体コイル12が下部磁極先端層19と下部磁極後端層20の間にあり、上層導体コイル12'が上部磁極先端層8と上部磁極後端層9の間にある場合、さらに図21において下層導体コイル12のみの場合等がある。また、図21の例では、上部磁極上層部13の部分に導体コイルがないため、上部磁極上層13が平坦な形状を有する。この場合では磁気回路の実質的な周回長が短いために、高周波特性の向上に有利である。

#### 【0041】

さらに、図22の例では、下部磁極が下部磁極先端層19、下部磁極主層18および下部磁極後端層20からなり、上部磁極は先端層が無く平坦な上部磁極上層13のみからなり、このヘッド先端部でトラック幅を形成している。導体コイル12は下部磁極先端層19と下部磁極後端層20の間に配置されている。このような構成の場合は、磁気回路の周回長を短くできるために高周波特性の向上に有利である。この構成においても、前記各実施例と同様に下部磁極先端層19に突起部を設け、突起部以外の下部磁極先端層19を浮上面より後退させることにより、オフトラック漏洩磁界を低減し隣接トラックの信号減衰を防止することができる。

#### 【0042】

以上の本発明の各実施例によれば、薄膜記録ヘッドにおける記録磁界を低下させずにオフトラック漏洩磁界を低減する効果はいずれのトラック幅においても得られるが、特にトラック幅が0.3μm以下の狭トラック幅の領域になり、トラックピッチが70kTPI以上となって、記録磁界強度およびオフトラック漏洩磁界が大きな問題になる領域において優れた効果を発揮する。また、記録媒体の保磁力が279kA/m(3500Oe)以上の高保磁力媒体を使用する磁気ディスク装置に組み込まれる場合に優れた効果を発揮する。

#### 【0043】

前記実施例のいずれかの記録再生分離型磁気ヘッドを搭載する磁気ディスク装置は、磁気記録媒体とそれを駆動するモータと、記録再生分離型磁気ヘッドの位置決めをする機構と、これらを制御する回路系および記録再生分離型磁気ヘッドに記録信号を供給し、記録再生分離型磁気ヘッドからの再生信号を処理する回路

系等から構成され、前記磁気記録媒体の保磁力が279 kA/m (3500 Oe) 以上であり、トラックピッチ70 kTPI 以上を実現する。

【0044】

さらに、本発明の記録再生分離型磁気ヘッドを使用した磁気ディスク装置を組み込んだ磁気ディスクアレイ装置において優れた効果を発揮する。

【0045】

以上説明した本発明の記録再生分離型磁気ヘッドにおける薄膜記録ヘッドの製造方法の特徴を整理すると以下の通りである。

【0046】

突出部24を含む下部磁極5あるいは下部磁極先端層19をフレームメッキ法またはパターンメッキ法によって形成する。

【0047】

下部磁極5あるいは下部磁極先端層19の浮上面15から後退した部分をA1を含有する酸化物で充填し、ボロン系ガスを用いたリアクティブイオンエッティング法により充填した酸化物層21を選択的にエッティングし、前記突出部24の上端面と前記酸化物層21の上端面との間に段差dを設ける。

【0048】

また、下部磁極5あるいは下部磁極先端層19の浮上面15から後退した部分をSiを含有する酸化物で充填し、フッ素系ガスを用いたリアクティブイオンエッティング法により充填した酸化物層21を選択的にエッティングし、前記突出部24の上端面と前記酸化物層21の上端面との間に段差dを設ける。

【0049】

下部磁極5あるいは下部磁極先端層19の上層部の磁性膜をレジストパターン30をマスクに用いて不要部を除去し、同一のレジストパターン30をマスクとして除去した部分に非磁性絶縁層21を形成することにより、前記下部磁極5あるいは下部磁極先端層19の上層部の上面と非磁性絶縁層21の上面がほぼ平坦となるように形成する。

【発明の効果】

以上の説明のとおり本発明によれば、薄膜記録ヘッドの下部磁極先端層あるい

は下部磁極に浮上面方向に突出部を設けることにより、オフトラック漏洩磁界を大幅に低減し、狭トラックピッチが実現可能な記録再生分離型磁気ヘッドを提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図 2】

本発明の第 2 の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図 3】

従来の記録再生分離型磁気ヘッドの断面図である。

【図 4】

従来の記録再生分離型磁気ヘッドの断面図である。

【図 5】

図 4 に示される従来の記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施例による薄膜記録ヘッドと従来の薄膜記録ヘッドのオフトラック漏洩磁界を比較する図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドと従来の薄膜記録ヘッドのオフトラック漏洩磁界を比較する図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッド先端部の斜視図である。

【図 9】

本発明の第 3 の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドのオフトラック漏洩磁界を示す図である。

【図10】

本発明の第3の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの製造方法を示す図である。

【図11】

図10に続く薄膜記録ヘッドの製造方法を示す図である。

【図12】

本発明の第4の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図13】

本発明の第4の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図14】

本発明の第5の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの断面図である。

【図15】

本発明の第5の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの断面図である。

【図16】

本発明の第6の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図17】

本発明の第6の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの浮上面方向から見た斜視図である。

【図18】

本発明の第6の実施例による記録再生分離型磁気ヘッドの薄膜記録ヘッドの製造方法を示す図である。

【図19】

図18に続く薄膜記録ヘッドの製造方法を示す図である。

【図20】

本発明の各実施例に適用される導体コイルの配置例を示す断面図である。

【図21】

本発明の各実施例に適用される導体コイルの配置例を示す断面図である。

【図22】

本発明の各実施例に適用される導体コイルの配置例を示す断面図である。

【符号の説明】

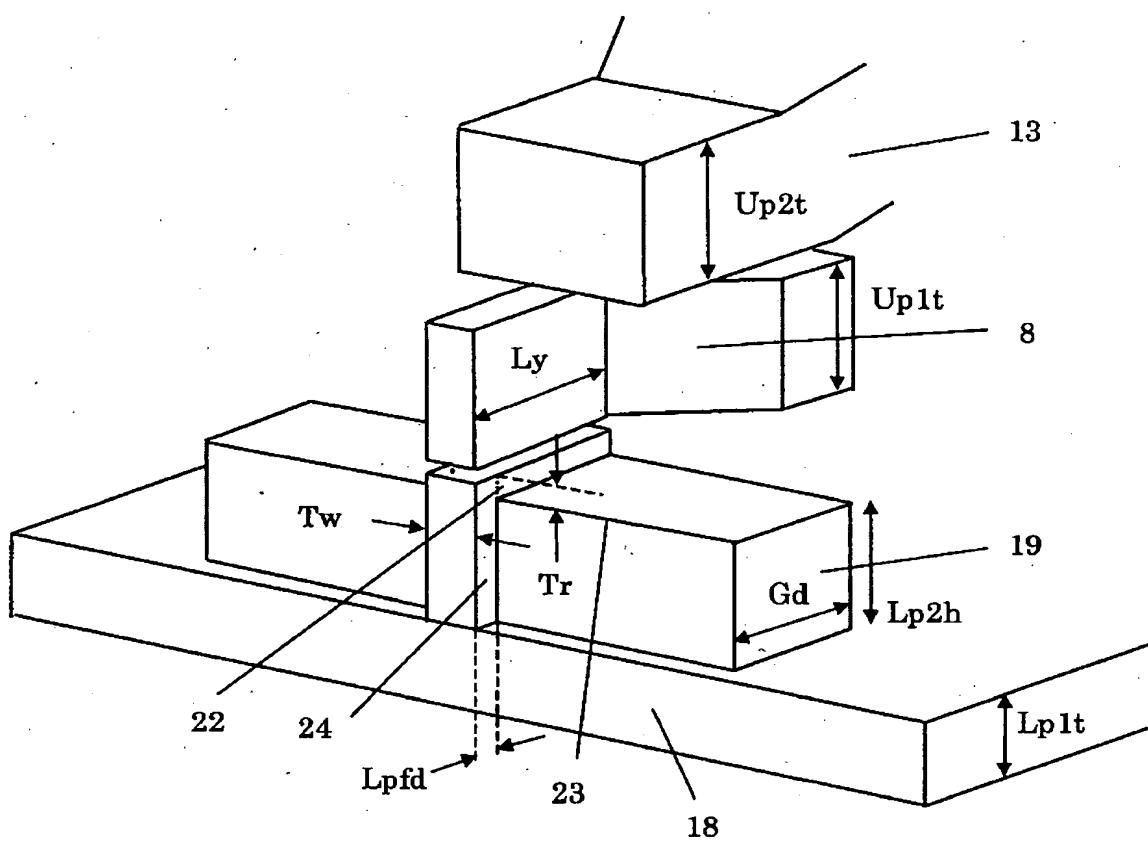
- 1 : 基板      2 : 下部磁気シールド      3 : 再生ギャップ      4 : 再生素子  
5 : 下部磁極      6 : 記録ギャップ層      7 : デプス規定用非磁性層  
8 : 上部磁極先端層      9 : 上部磁極後端層      10 : 非磁性絶縁層  
11 : 導体コイル絶縁層      12 : 下層導体コイル      12' : 上層導体コイル  
13 : 上部磁極上層      14 : 保護層      15 : 浮上面  
16 : 上部磁極上層後端部      17 : 記録媒体      18 : 下部磁極主層  
19 : 下部磁極先端層      20 : 下部磁極後端層      21 : 下部非磁性絶縁層  
22 : トリム部      23 : 下部磁極先端層上端面      24 : 突出部  
25 : 突出部の上端角部      26 : 上部磁気シールド      27 : 分離層  
28 : 下部磁極先端層上層部      29 : 下部磁極先端層下層部  
30 : レジストパターン  
Tw : トラック幅      Gd : ギャップデプス      GL : ギャップ長  
Tr : トリム高さ      Lpfw : 突出部幅  
Lpfd : 下部磁極または下部磁極先端層後退量  
Lp2h : 下部磁極先端層の高さ      Ly : 上部磁極先端層の磁極広がり位置  
Up1t : 上部磁極先端層の厚さ      Up2t : 上部磁極上層の厚さ  
Lp1t : 下部磁極主層の厚さ。

【書類名】 図面



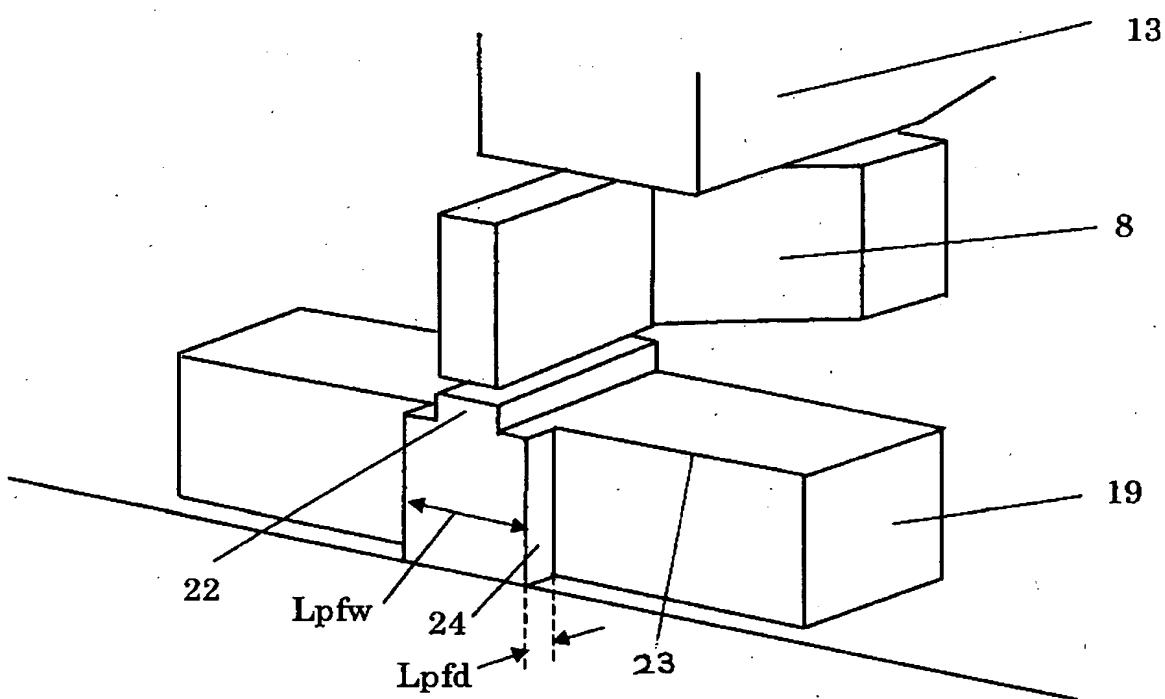
【図1】

図1



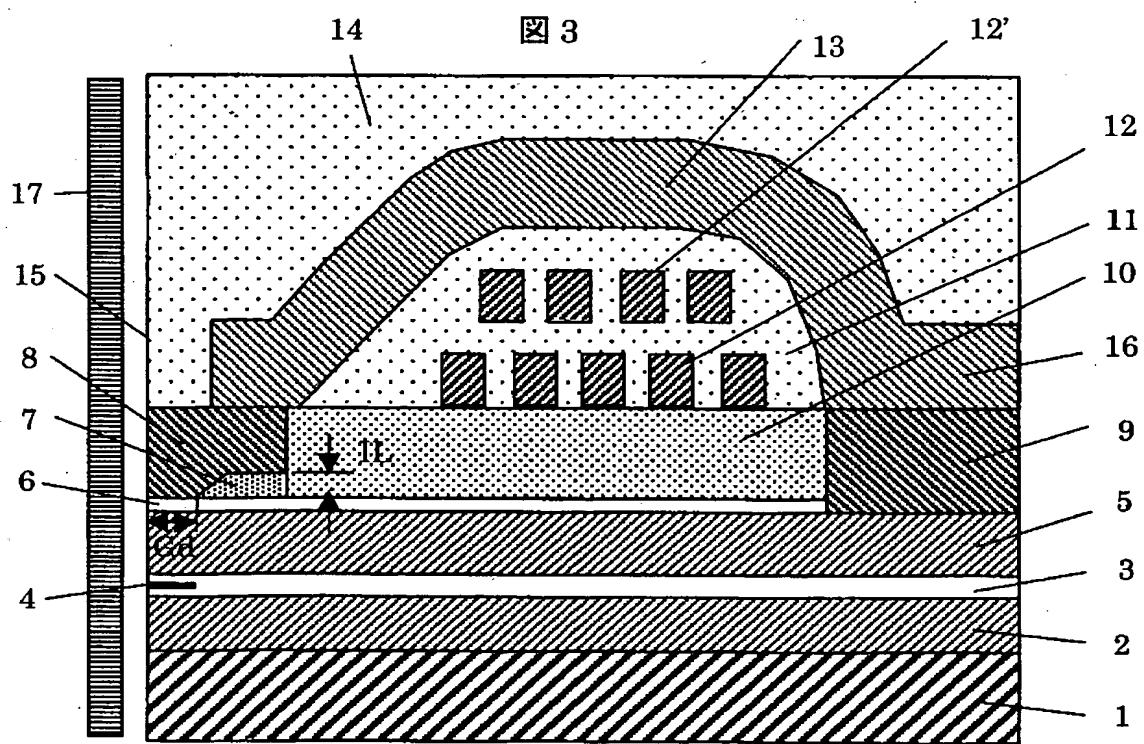
【図2】

図2



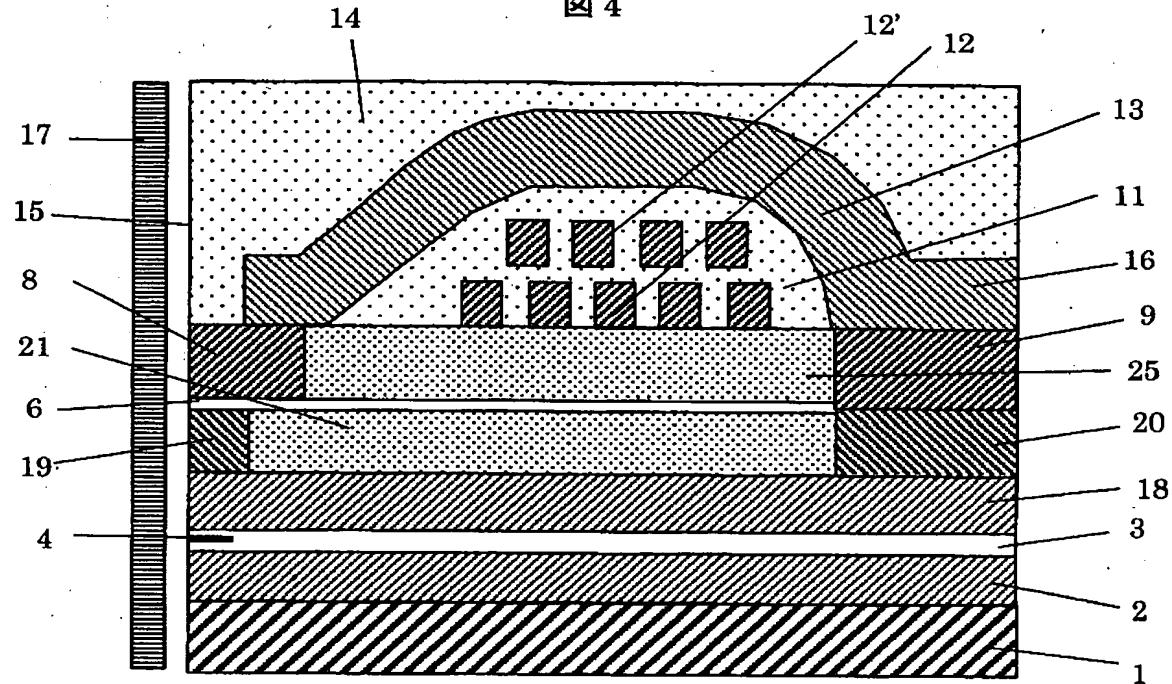
【図3】

図3



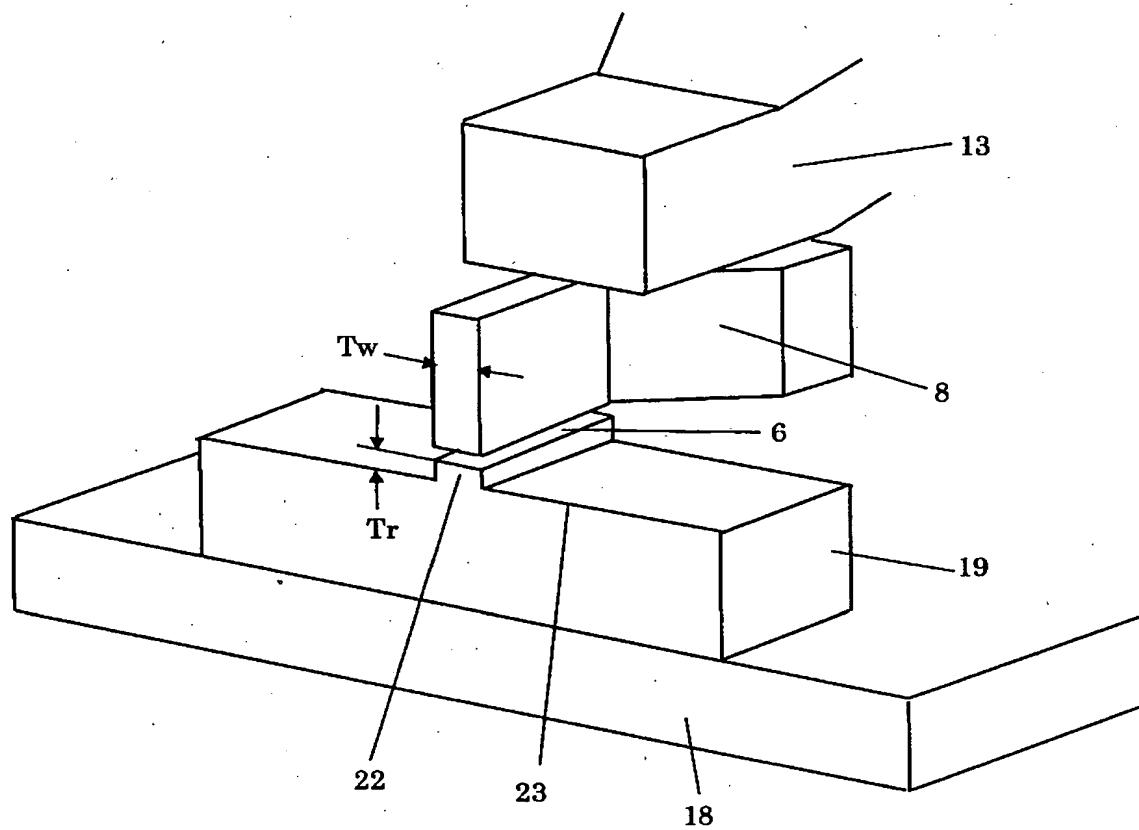
【図4】

図4



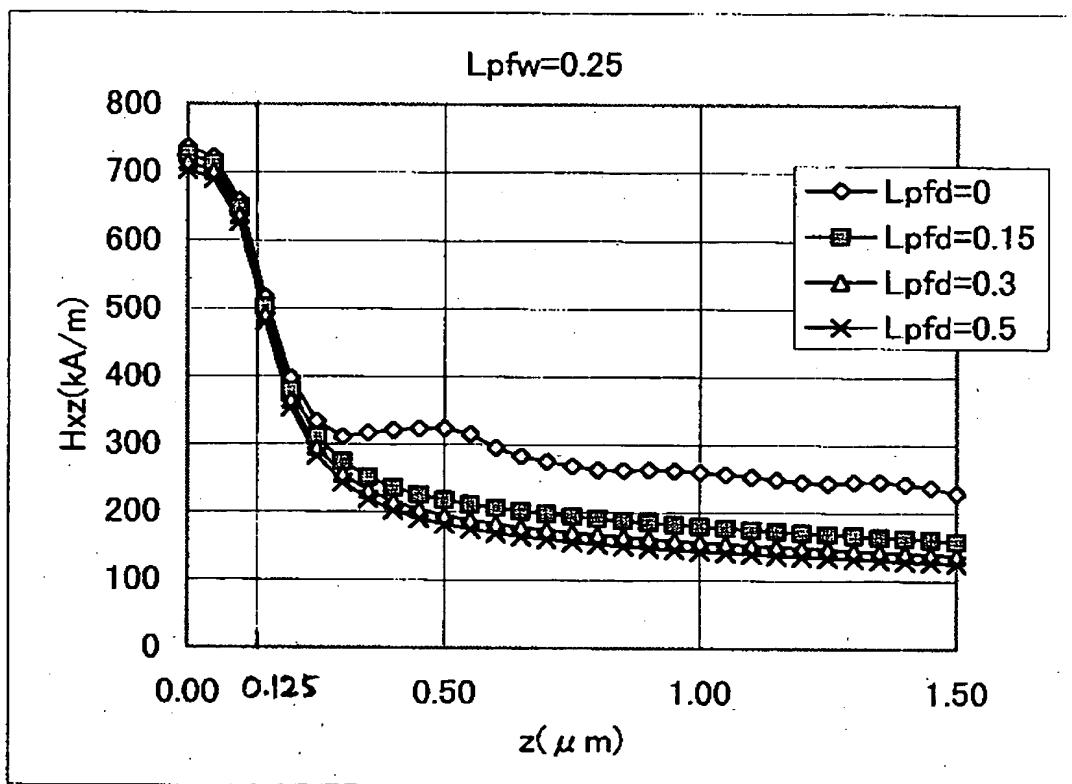
【図5】

図5



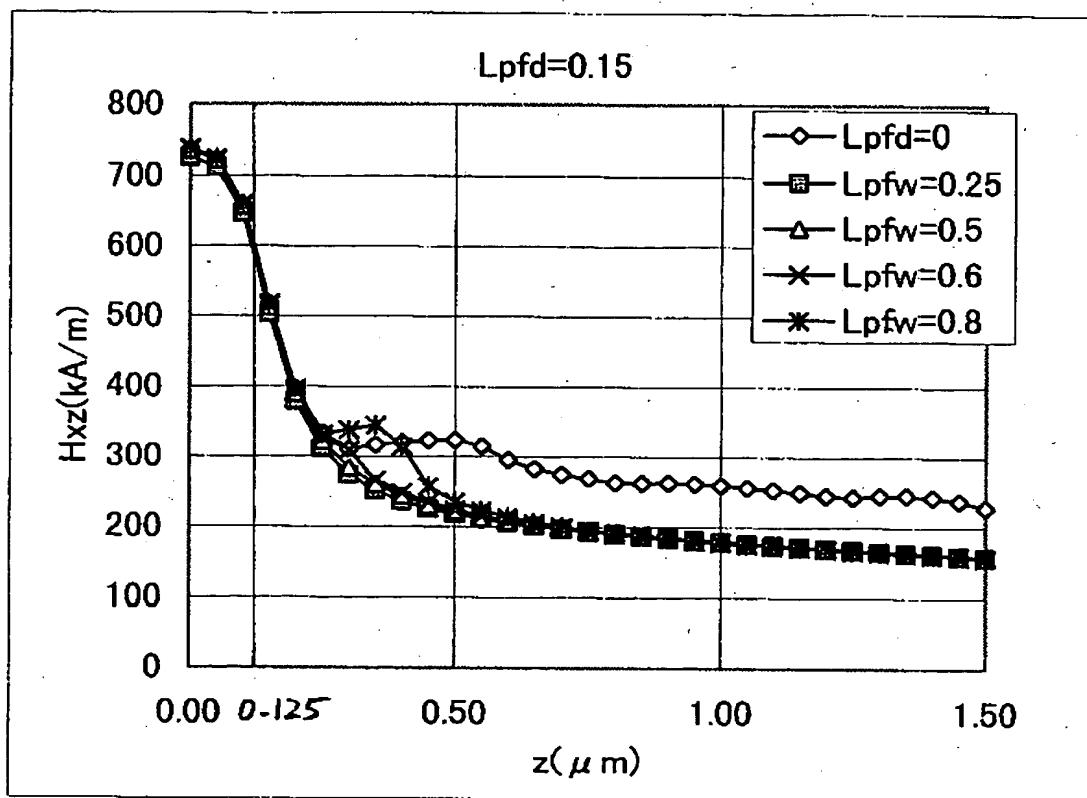
【図6】

図6



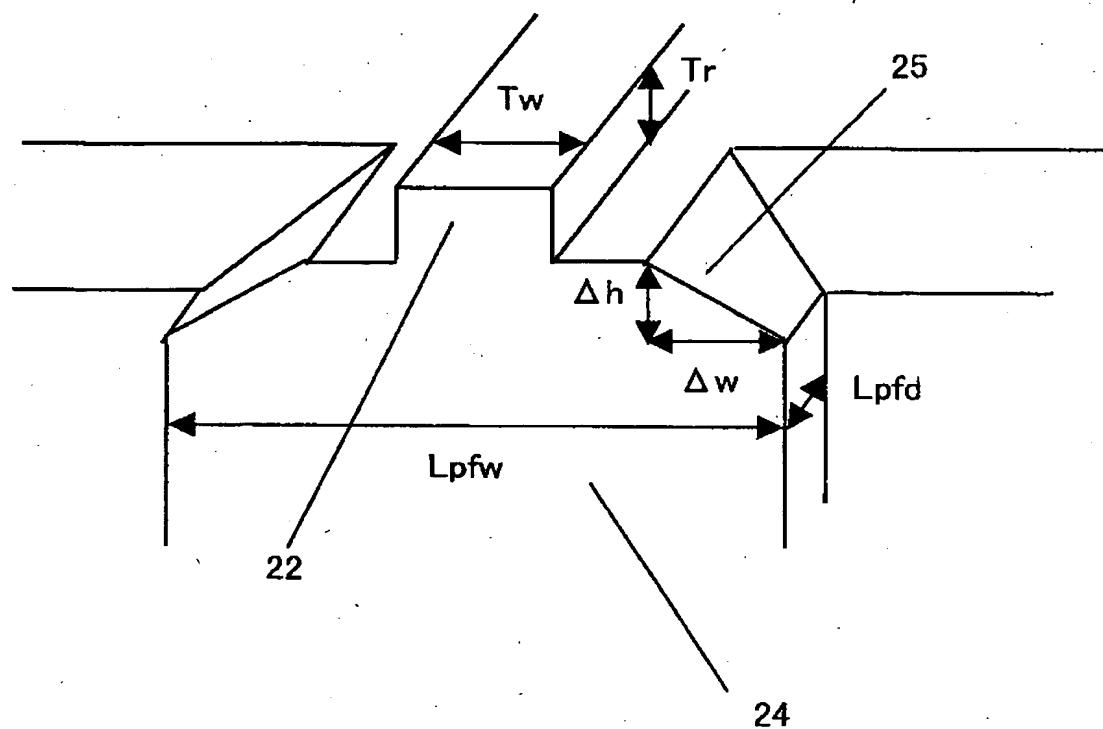
【図7】

図7



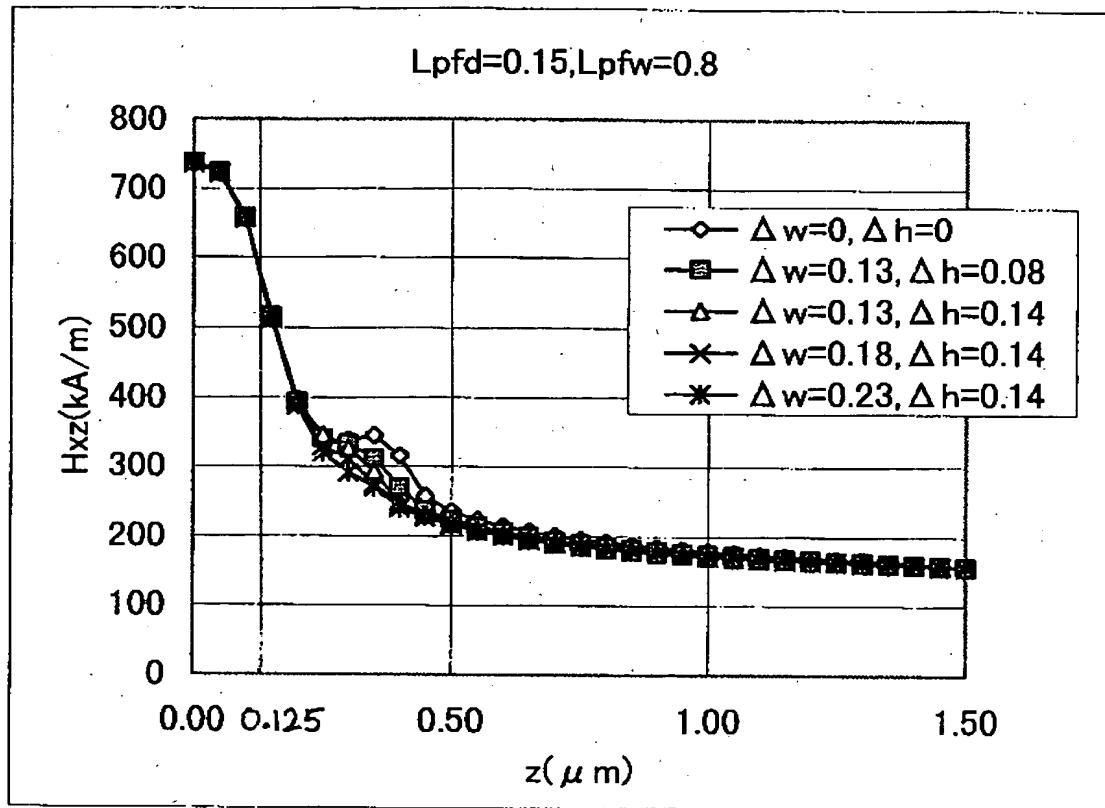
【図8】

図8



【図9】

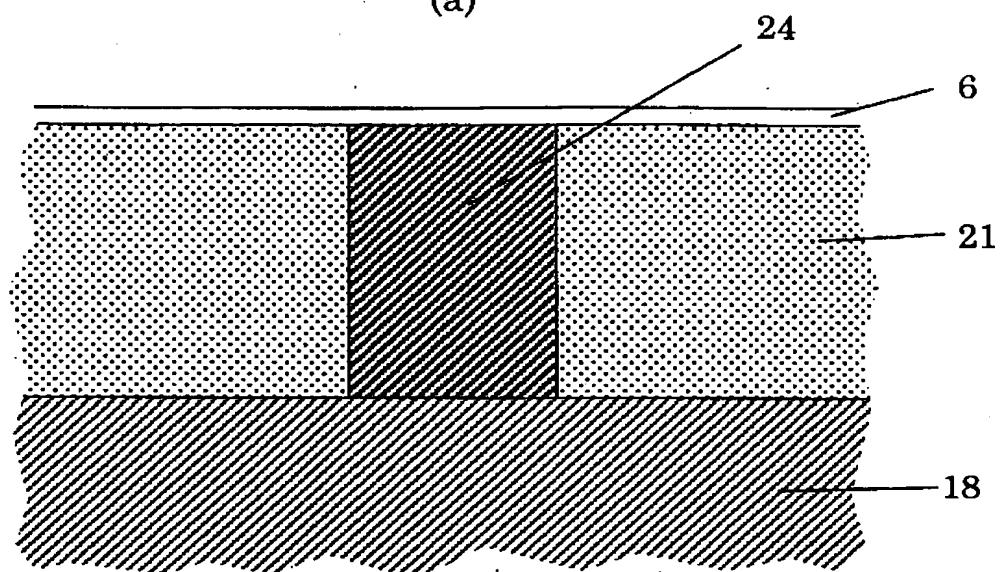
図9



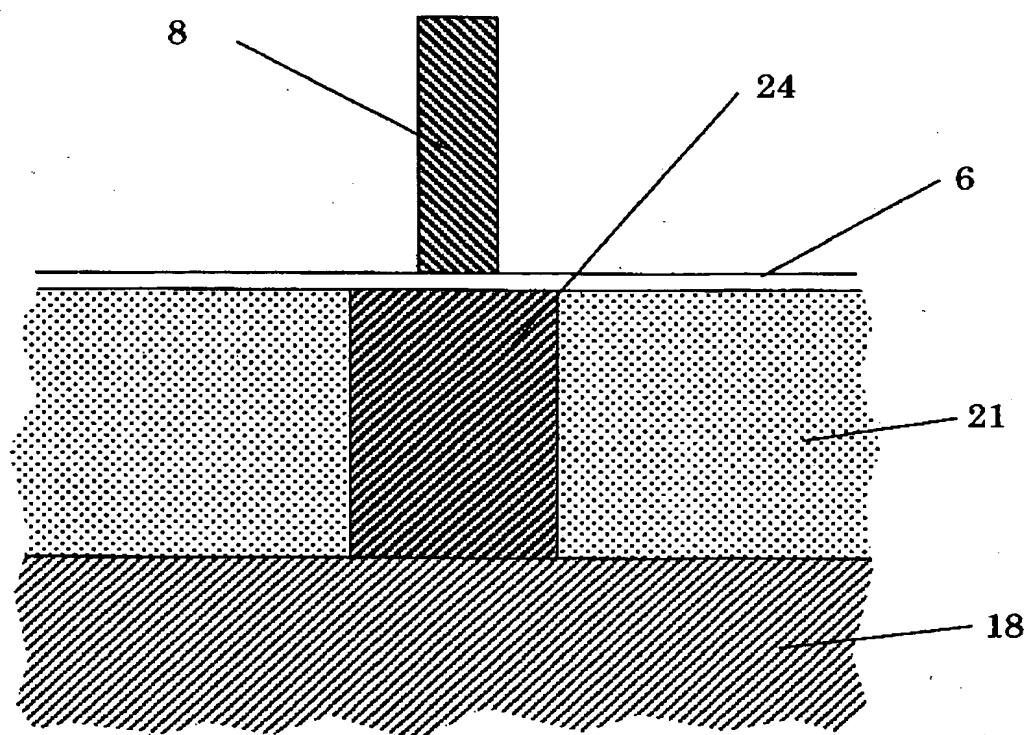
【図10】

図10

(a)



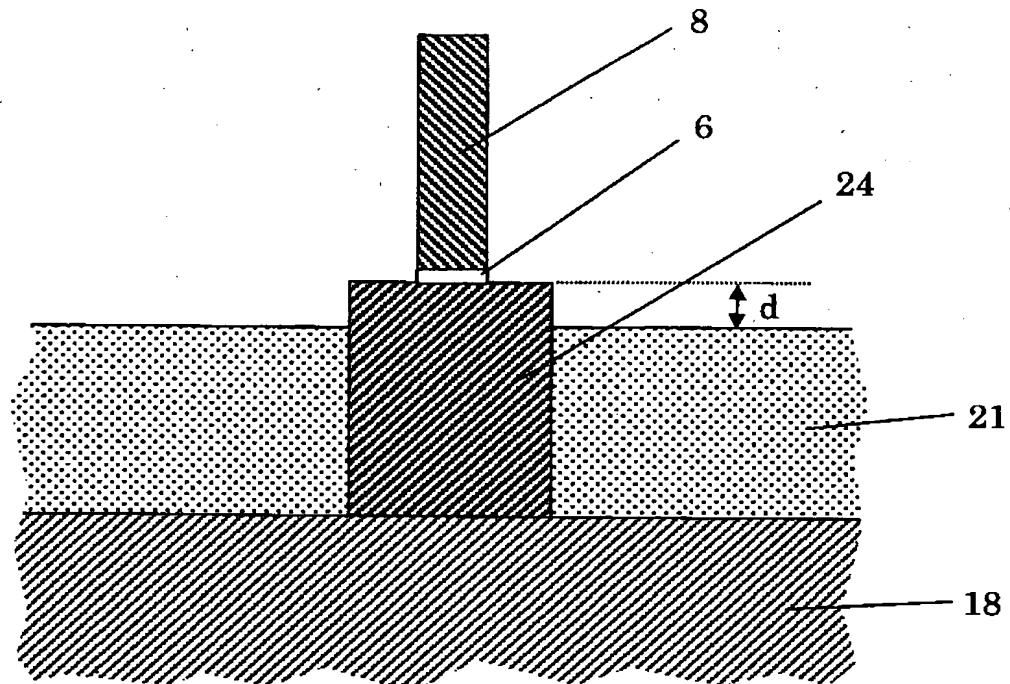
(b)



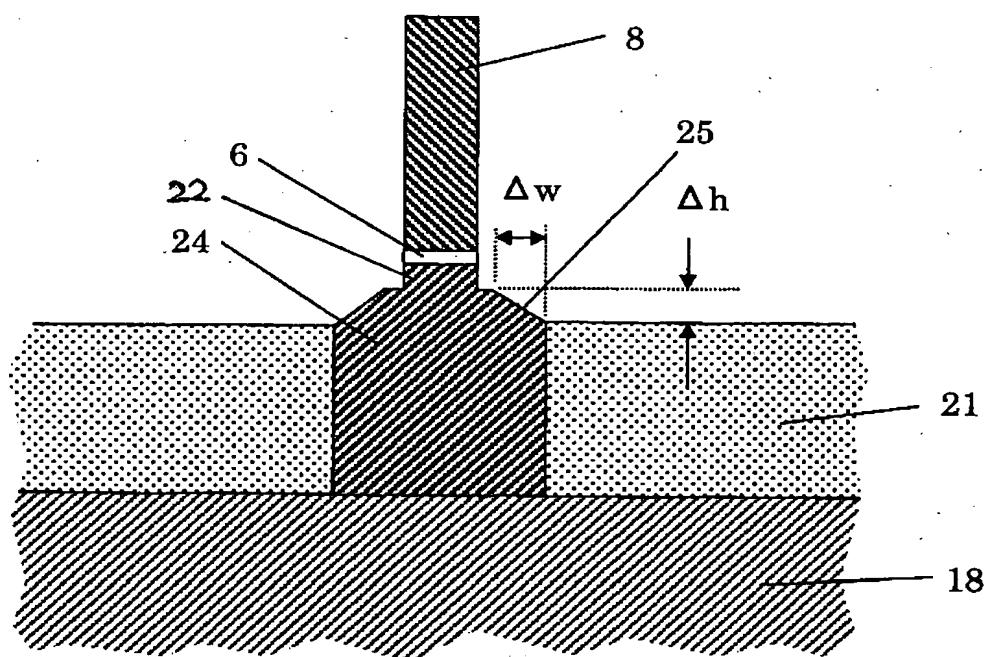
【図11】

図 11

(c)

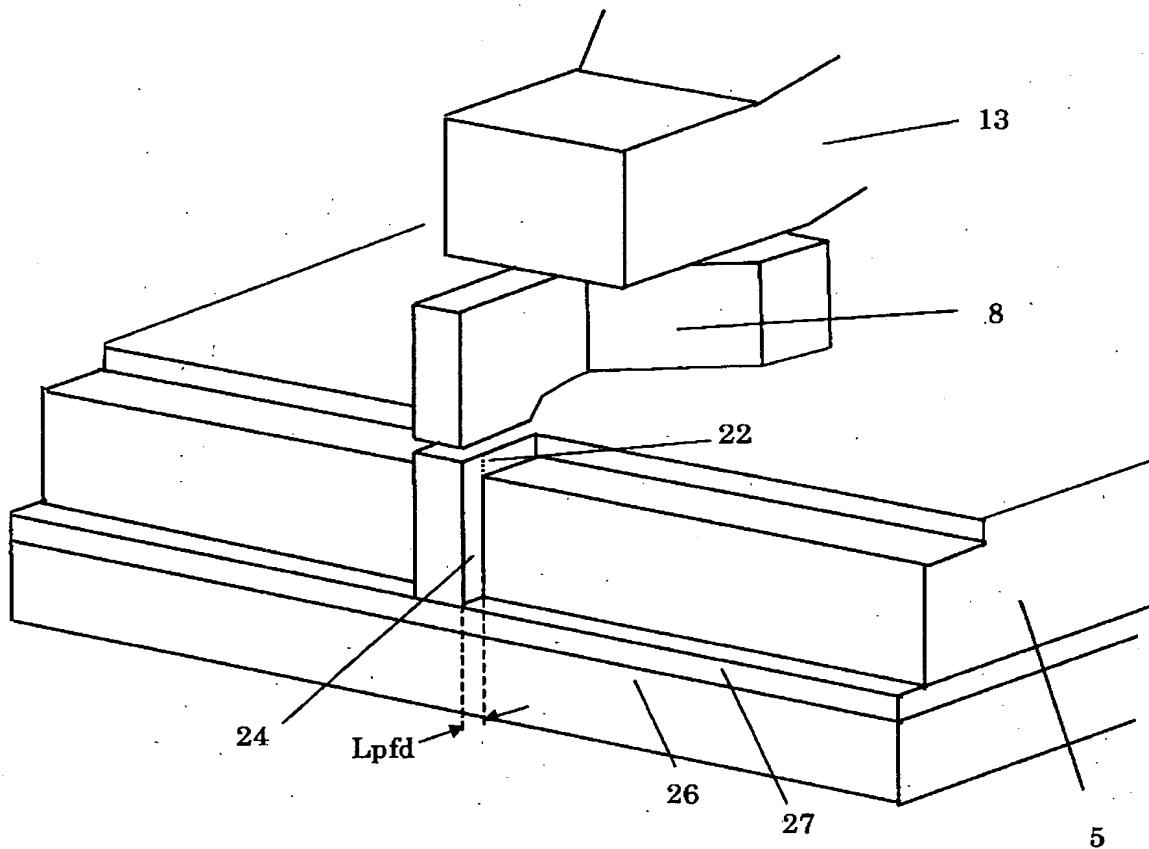


(d)



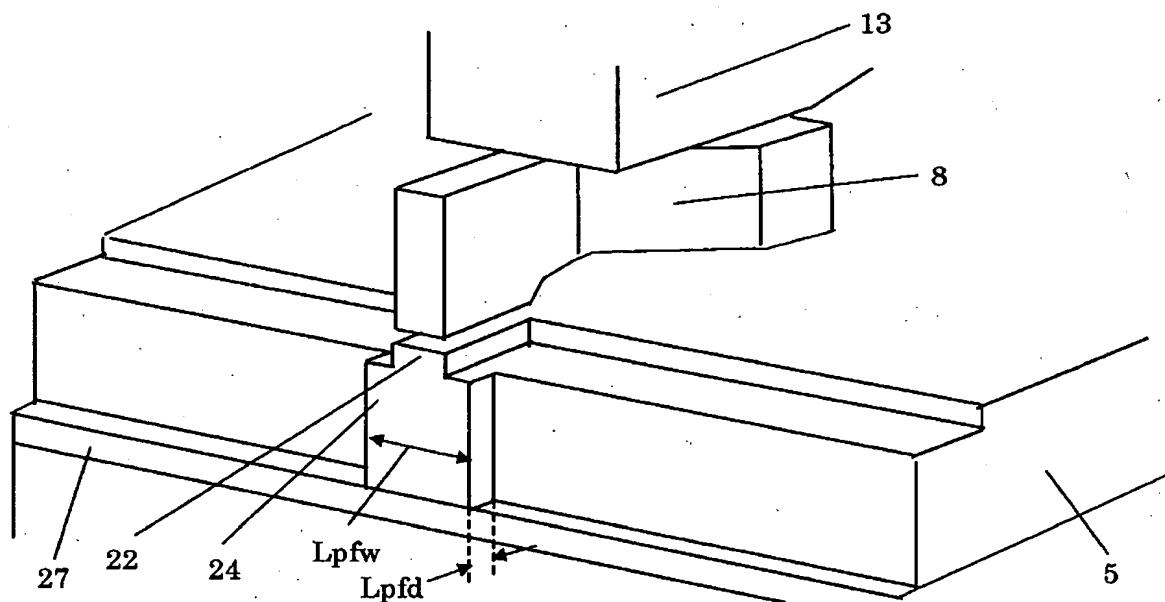
【図12】

図 12



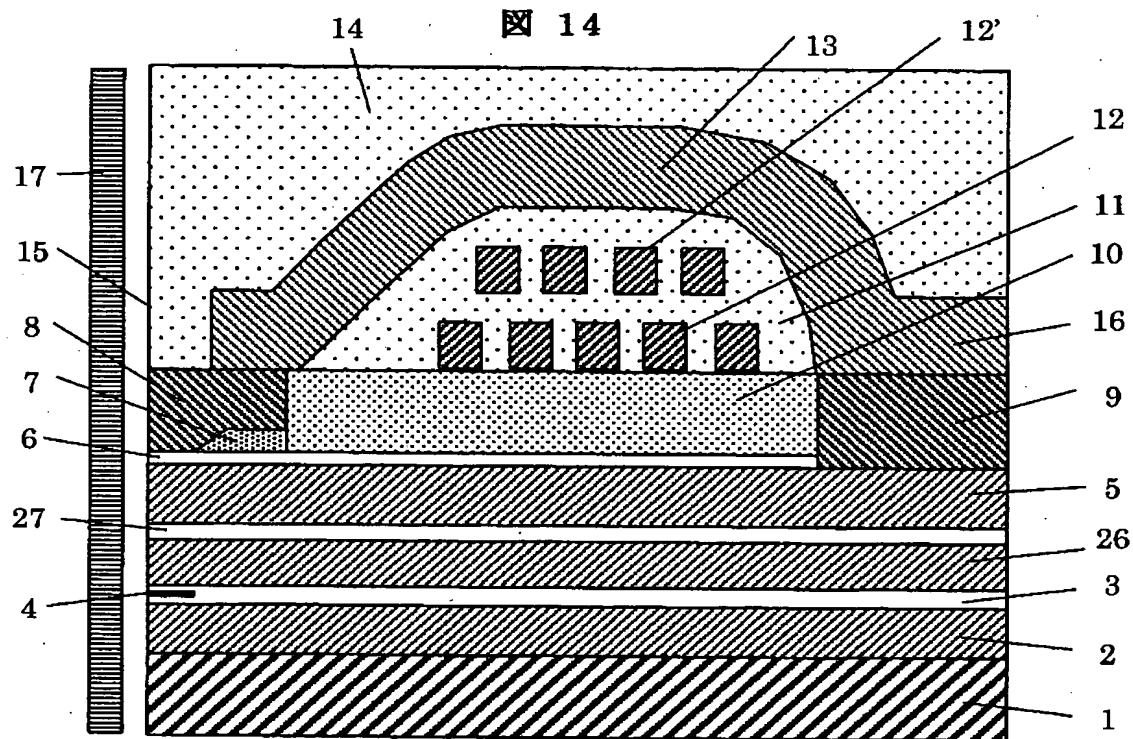
【図13】

図 13



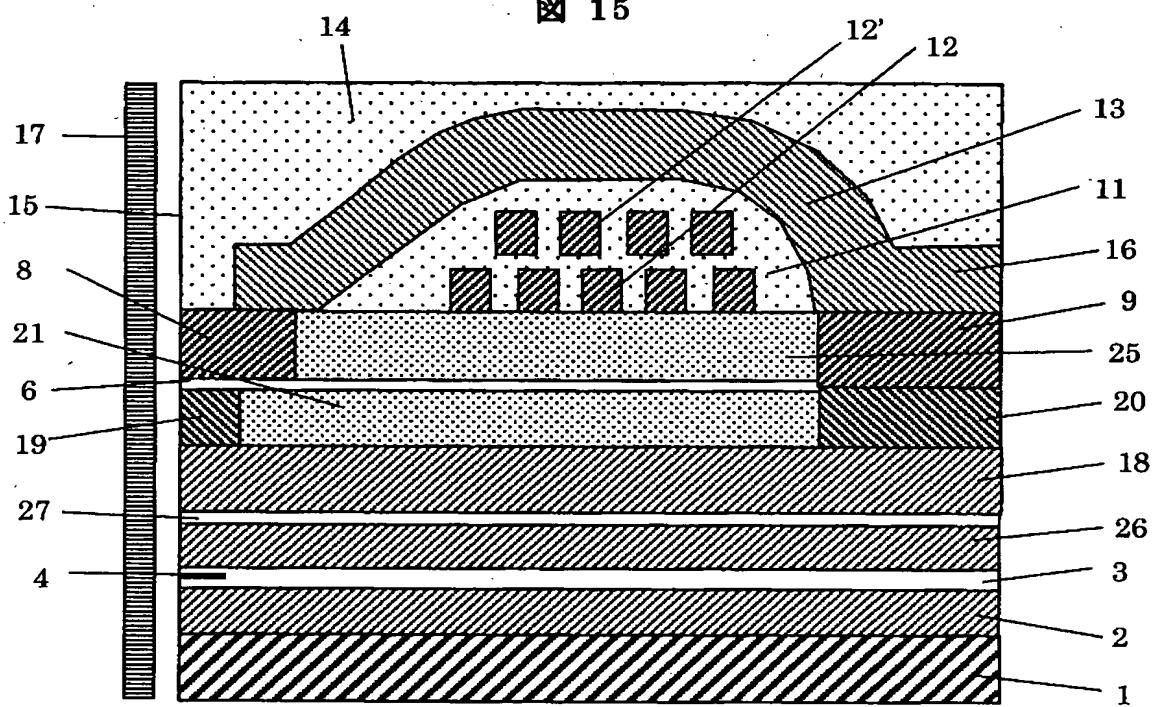
【図14】

図 14



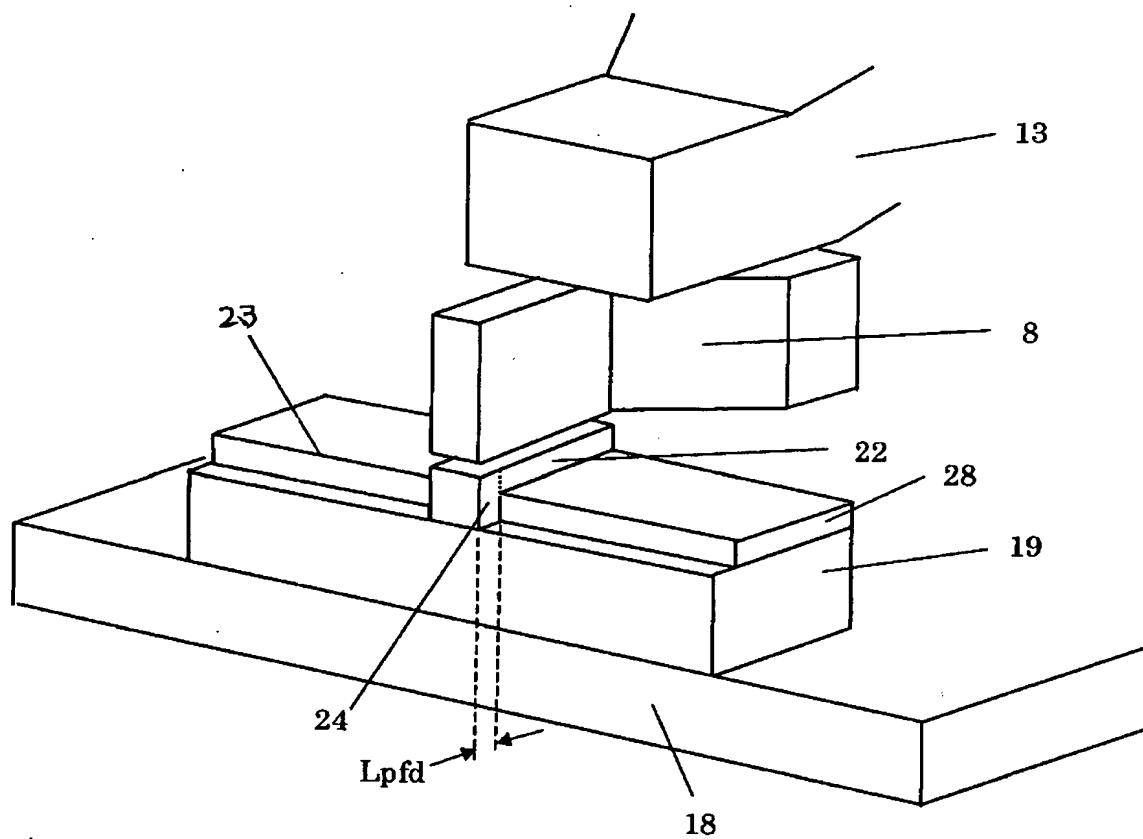
【図15】

図15



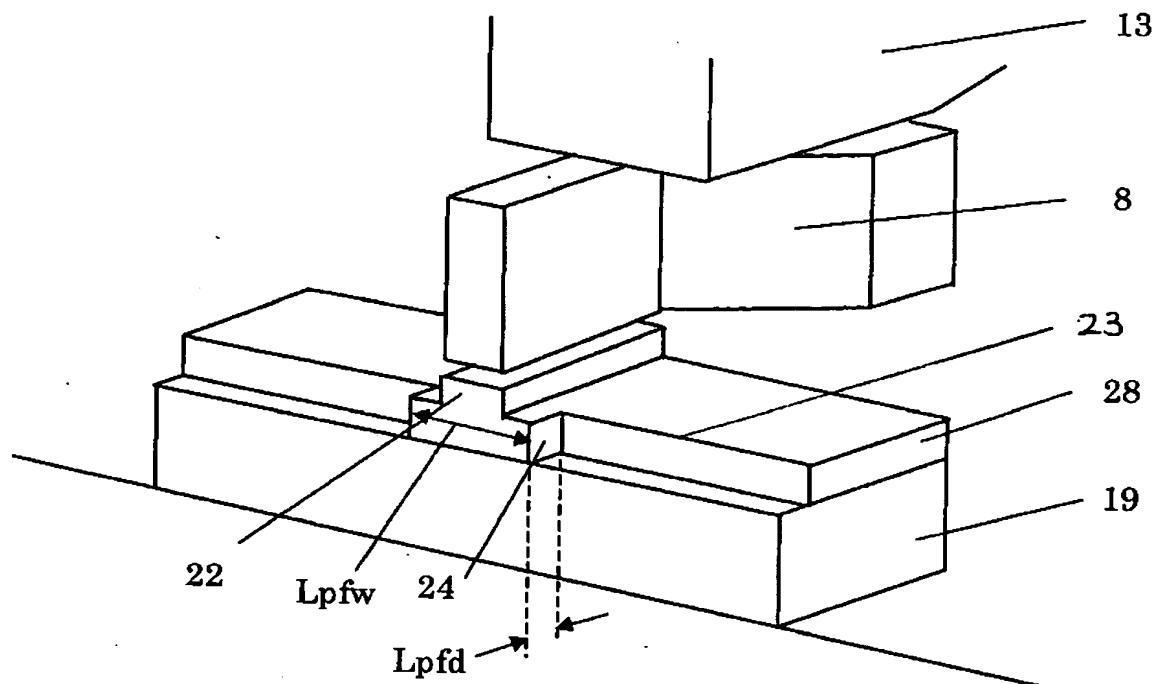
【図16】

図 16



【図17】

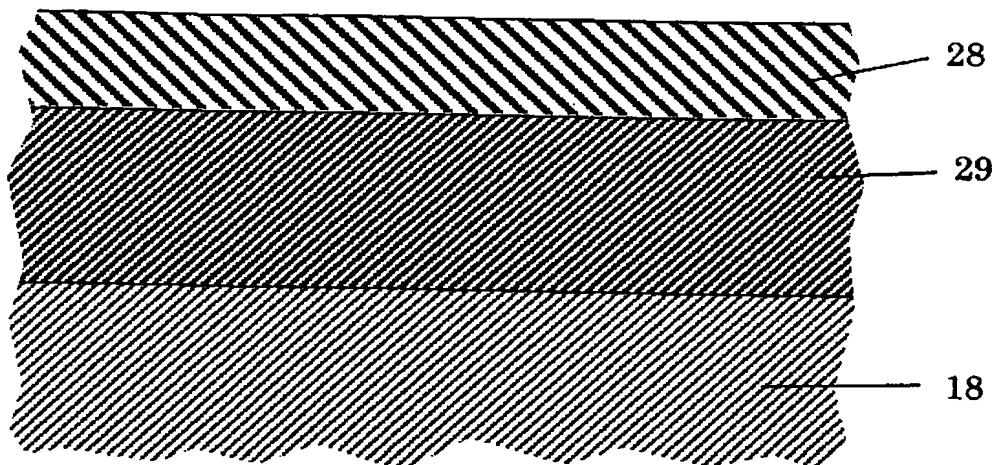
図 17



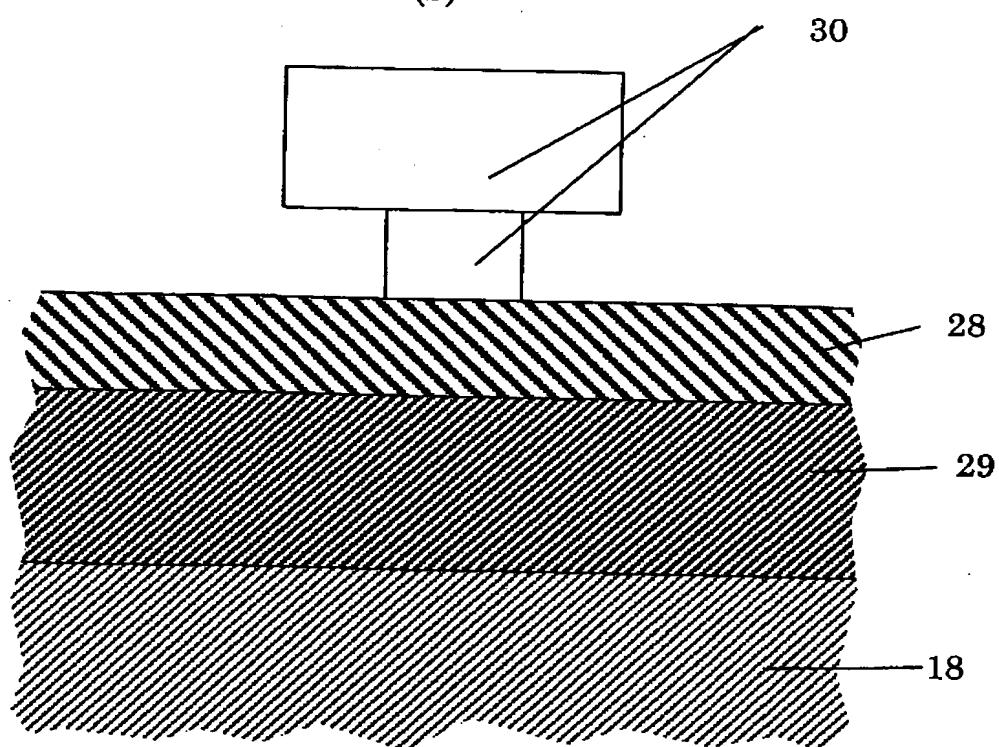
【図18】

図 18

(a)



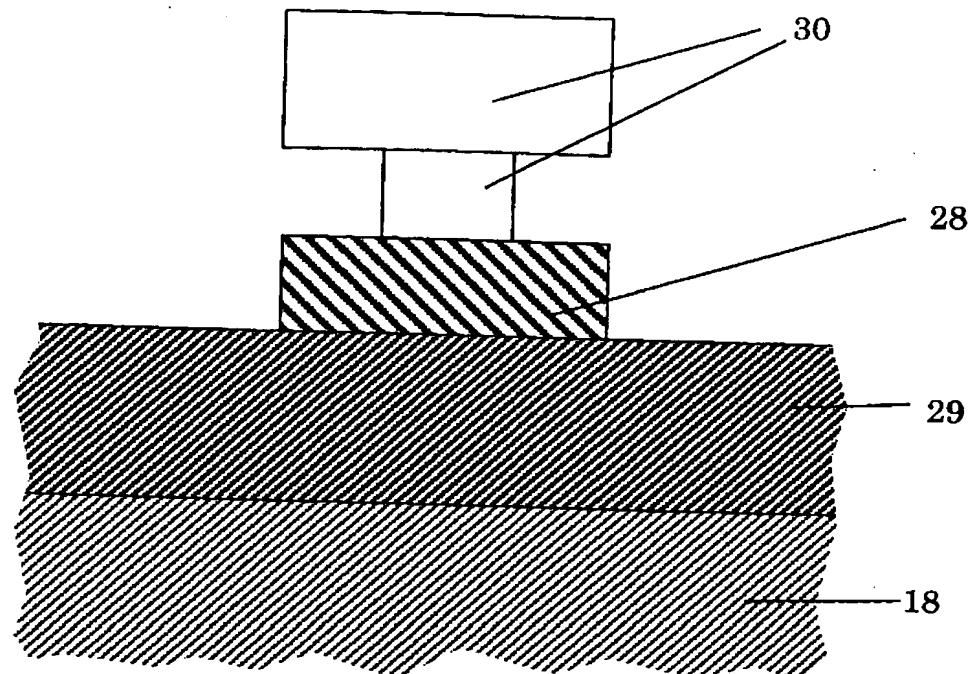
(b)



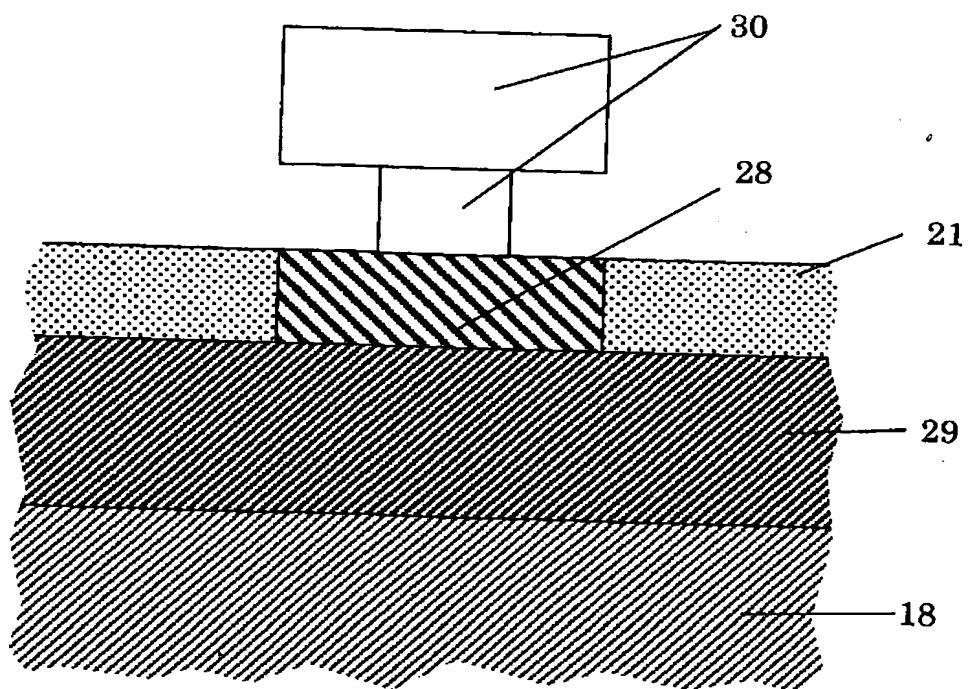
【図19】

図 19

(c)

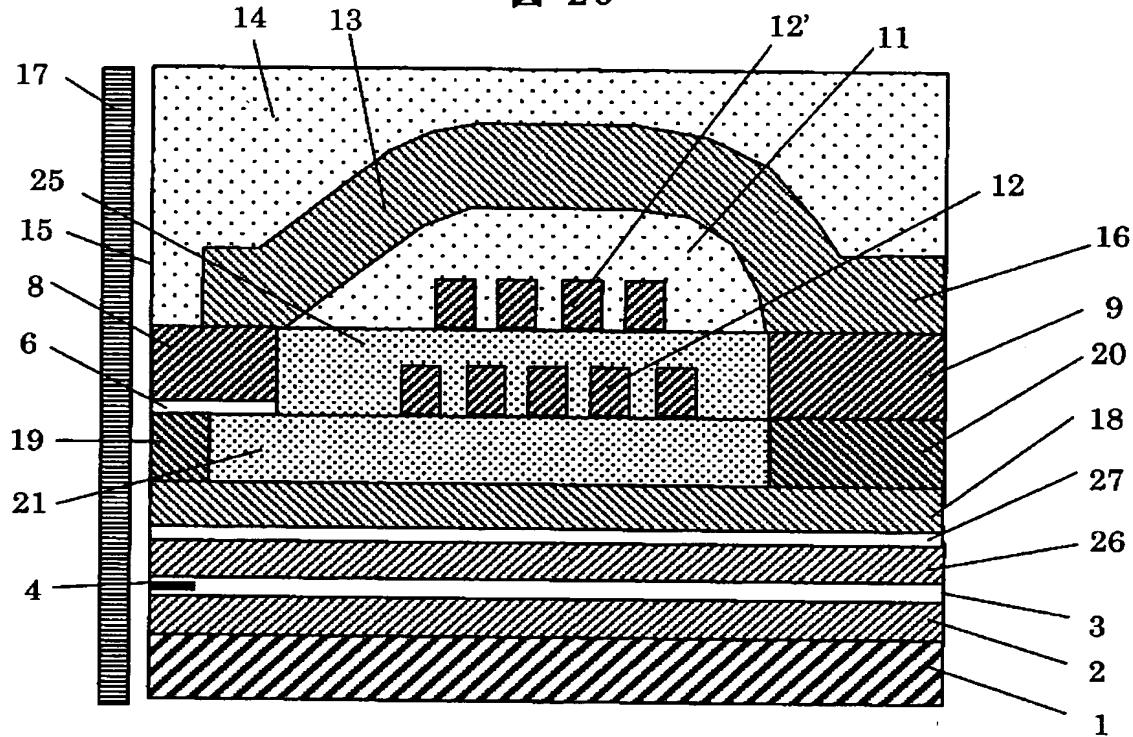


(d)

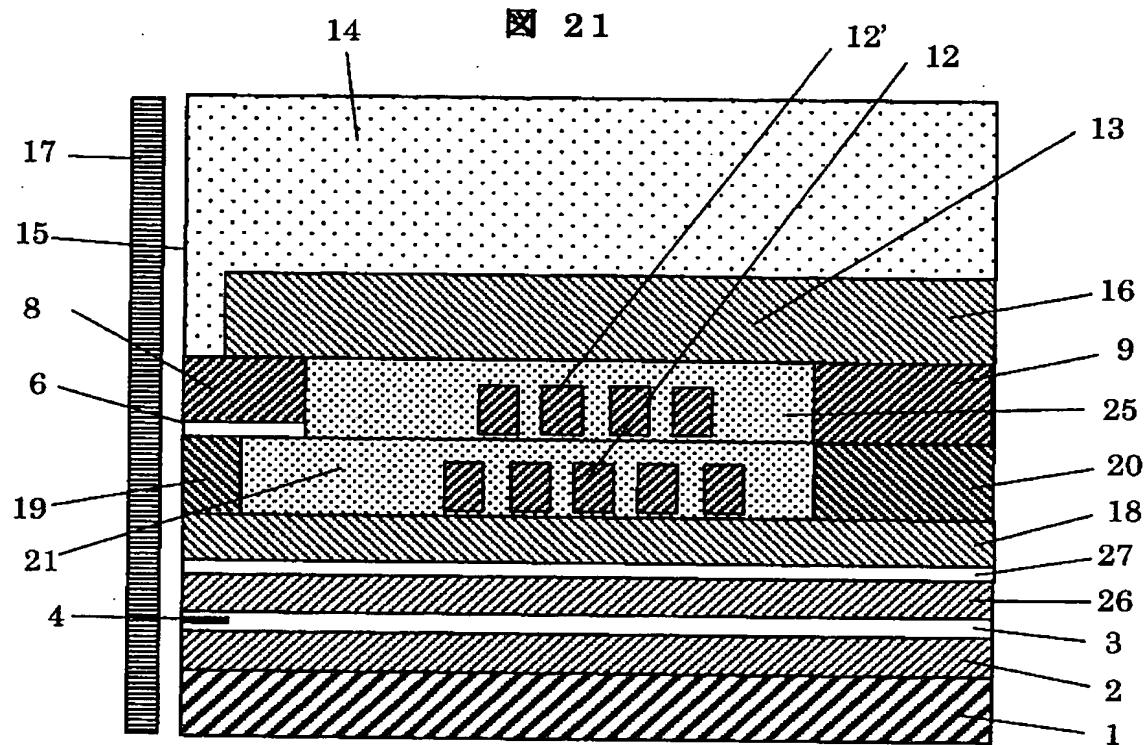


【図20】

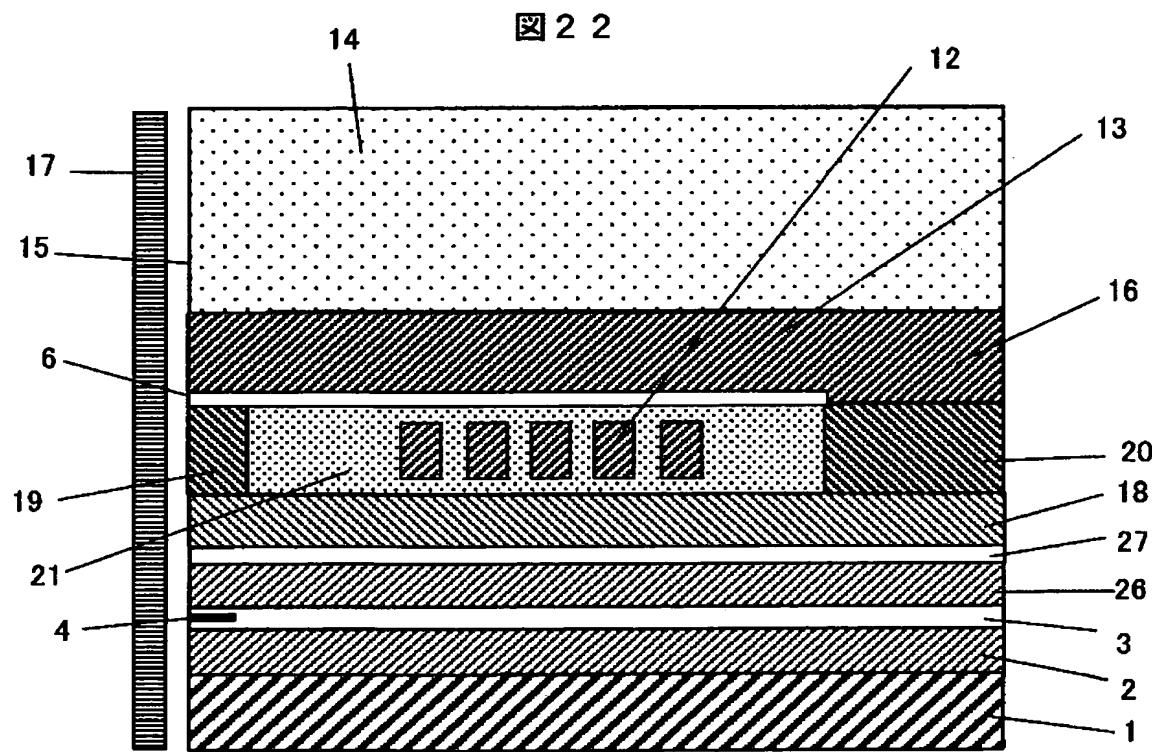
図20



【図21】



【図22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

高い記録磁界と低いオフトラック漏洩磁界を有する、狭トラックピッチに適した狭トラック薄膜記録ヘッドを有する記録再生分離型磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】

下部磁極 5 あるいは下部磁極先端層 1 9 に、トラック幅  $T_w$  に等しいかやや広い幅  $L_{pfw}$  を有する浮上面側に突出する突出部 2 4 を設ける。突出部以外の下部磁極 5 あるいは下部磁極先端層 1 9 は浮上面 1 5 より  $L_{pfw}$  だけ後退させる。このような構成をとることにより、オフトラック部の漏洩磁界が発生する下部磁極 5 あるいは下部磁極先端層 1 9 の上端面 2 3 が浮上面 1 5 に露出しないため、オフトラック部の漏洩磁界  $H_{xz}$  を大幅に低減することができる。

【選択図】 図 1